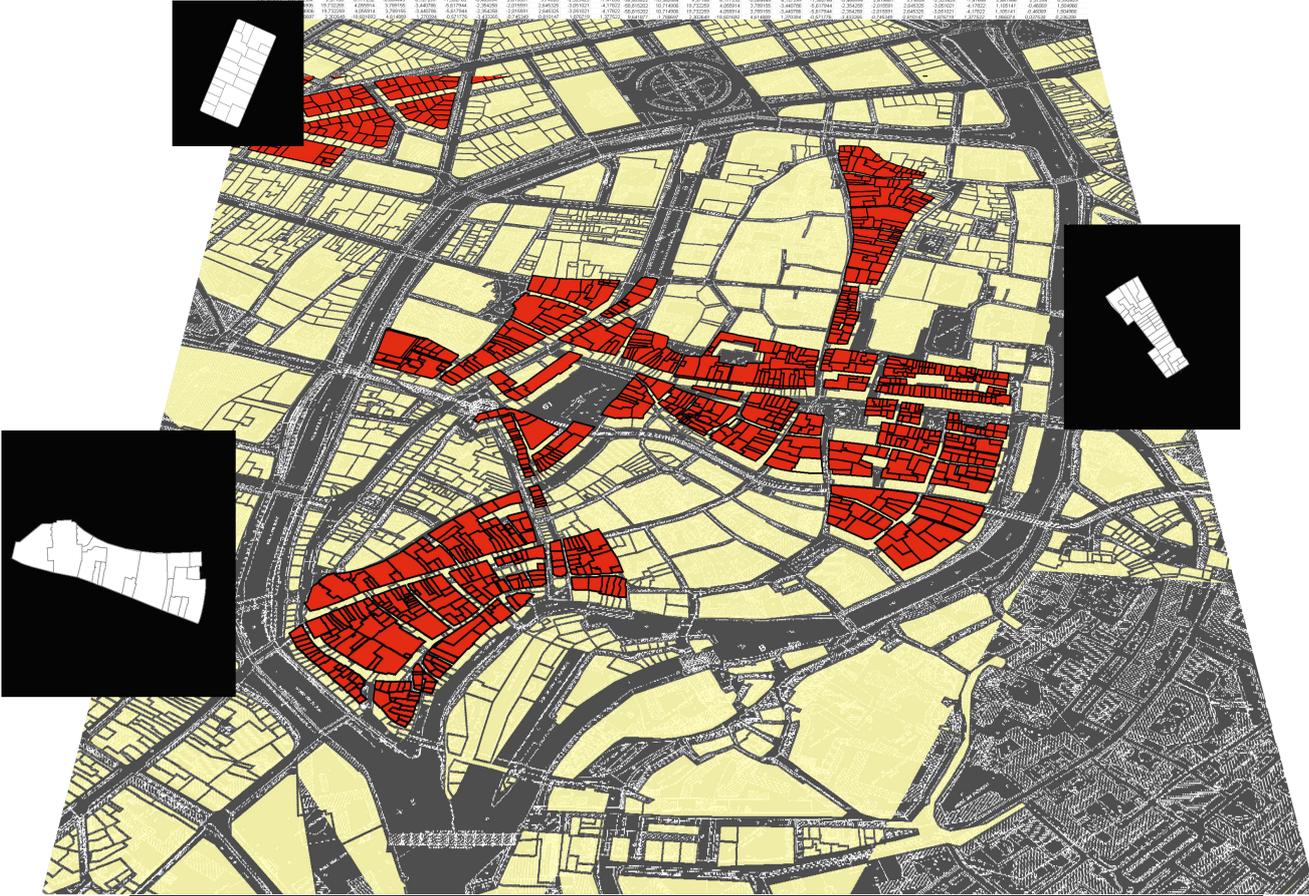
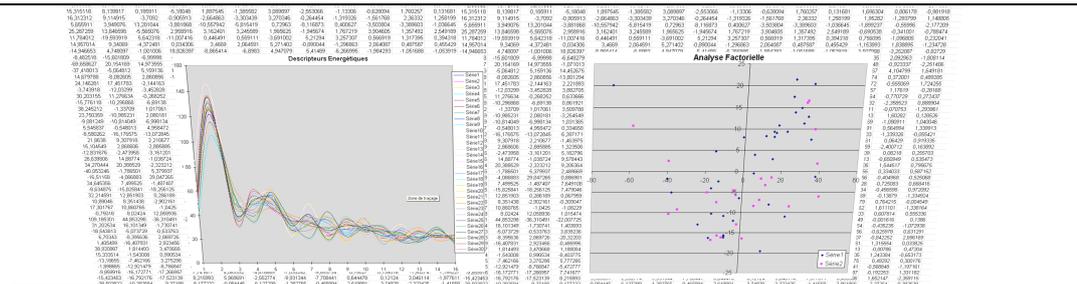


Université Henri Poincaré
Ecole d'Architecture de Nancy
Ecole d'Architecture de Strasbourg
Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg
Institut National Polytechnique de Lorraine

Mémoire de DEA
« Modélisation et Simulation des Espaces Bâti »
« APPLICATION D'UN SYSTEME AUTOMATIQUE DE RECONNAISSANCE DE FORMES AUX SIG »



Alain FUCHS
Laboratoire d'accueil : CRAI de Strasbourg
Sous la direction de Philippe BACH
Octobre 2001

REMERCIEMENTS

Je remercie monsieur Abdelkader Ben Saci, enseignant au Laboratoire d'Analyse de Formes à l'école d'architecture de Lyon, pour son aide précieuse non seulement au cours de l'élaboration de mon travail mais également dans le traitement et l'analyse des données collectées.

Je tiens également à remercier Philippe Bach, directeur de stage, et Valérie Laforgue, enseignante responsable, pour leurs conseils et leur soutien tout au long de ce stage.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	4
Cadre du stage.....	5
PROBLEMATIQUE	6
ETAT DE L'ART.....	12
L'analyse urbaine	12
Les tissus urbains	12
Typologies	13
Les outils d'analyse du tissu urbain en général	17
Morphométrie et modélisation systémique.....	19
1. Paradigme systémique de connaissance.....	20
2. Système de l'architecture.....	21
3. Modèles actuels de compréhension de la morphose et critique de ces modèles	24
4. Objectivation de l'étude des formes	26
5. Modèle de mesure de la forme comme instrument de modélisation du système de production de formes.	36
DEFINITION DES SIG	52
1. Définition	52
2. Fonctionnalités de base.....	52
3. Objectifs d'un SIG	52
4. Attributs des objets	53
5. Modèles de données géométriques.....	53
6. Structure des données dans un SIG.....	53
7. Modélisation dans un SIG	54
Conclusion : intérêts des SIG appliqués à cette étude.....	54
PRINCIPE GENERAL.....	56
CORPUS : TISSUS URBAINS DE STRASBOURG	57
Présentation générale de la ville de Strasbourg	57
Analyse typologique	59
Typologie.....	62

METHODE DE TRAVAIL	64
Les outils de constitution du corpus.....	65
Constitution d'un corpus de références typologiques	67
ANALYSE & INTERPRETATION.....	75
Les TUF1.....	75
Les TUFORC.....	76
Les TUFORD.....	76
Les TUOMIT	76
Les TUOOP.....	76
La concaténation des résultats	77
CONCLUSION.....	78
BIBLIOGRAPHIE	80

INTRODUCTION

L'étude de la ville, du tissu urbain, fait partie des bases de l'enseignement en école d'architecture. C'est un domaine qui mobilise de nombreux champs de connaissances tels que la géographie, l'histoire, la sociologie ou l'histoire de l'art. Pour un étudiant en école d'architecture un tel sujet d'étude consiste en un vaste terrain d'expérimentation qui comporte autant de pistes de recherches.

Les Systèmes d'information Géographique (SIG), quant à eux représentent un outil de constitution, d'analyse et de présentation d'informations. Ils connaissent un développement constant dans de nombreux domaines. Ils représentent un instrument idéal dans l'approche urbanistique.

Parallèlement à ces deux domaines, j'ai eu l'occasion de suivre une présentation d'un travail de recherche sur l'analyse de formes appliquée au domaine de l'architecture. Cette étude a été portée à ma connaissance dans le cadre des enseignements des modules optionnels du DEA « modélisation et simulation des espaces bâtis ». Cette application concrète et visiblement opératoire dans le domaine de l'architecture, plus précisément l'analyse de la typologie de façade urbaine, m'a interpellé.

C'est pourquoi lors de la définition d'une thématique de recherche pour mon stage de DEA, la tentative d'utilisation de ce mode opératoire appliqué à la ville m'est apparue constitutive d'un sujet d'étude pertinent, une possibilité d'approfondissement de mes connaissances personnelles, ainsi qu'une opportunité de découverte d'un domaine de recherche motivant.

Monsieur Abdelkader Ben Saci, à l'origine d'une thèse sur la « morphométrie et la modélisation systémique » s'est également révélé intéressé par ma démarche qui consiste à redéployer les outils définis pour l'architecture sur un domaine qui présente l'intérêt d'être à la fois proche tout en conservant ses spécificités : l'étude de la ville.

L'objet de mes recherches consistera ainsi à définir les modalités d'analyse susceptibles d'être mises en œuvre dans le cadre de mon stage de DEA. Par ailleurs le laboratoire d'accueil, le CRAI de Strasbourg, met à disposition un ensemble d'outils informatiques, notamment les SIG, mais aussi des bases de données pouvant servir de point de départ à ce type d'étude. Ma démarche combinera donc une approche théorique sur l'analyse de la typologie urbaine ainsi que l'application pratique d'un outil d'analyse morphométrique à un corpus défini. Mon travail se limitera à l'étude de la forme urbaine à partir du plan. En effet une approche tridimensionnelle n'était pas appropriée à l'application directe de la reconnaissance de formes. Mon mémoire s'articule autour de deux thèmes majeurs : l'analyse urbaine et la morphométrie analytique. Il s'organise concrètement en deux parties, la première revêt un aspect théorique et met en lumière l'état de l'art ; la seconde s'attache à constituer un corpus de formes urbaines qui sera soumis à l'analyse fréquentielle, un élément déterminant du travail d'Abdelkader Ben Saci.

Cadre du stage

Ce stage de DEA s'est déroulé, du mois de mars au mois d'octobre 2001, au laboratoire du CRAI de l'école d'architecture de Strasbourg, sous la direction de Philippe Bach et la responsabilité de Valérie Laforgue. J'ai pu également bénéficier de l'aide d'Abdelkader Ben Saci, qui m'a accueilli au Laboratoire d'Analyse de Formes de l'école d'architecture de Lyon, afin de pouvoir traiter une partie des données collectées au cours de cette recherche.

PROBLEMATIQUE

L'intitulé de mon travail, « application d'un système automatique de reconnaissance de formes aux SIG », laisse percevoir deux de ses éléments essentiels : la reconnaissance de forme et les Systèmes d'Informations Géographiques. L'application principale des SIG comme outils d'organisation et d'analyse est l'étude de la ville, tandis que la reconnaissance de forme constitue un outil utilisé dans des domaines extrêmement variés, dont notamment l'analyse architecturale, domaine relativement proche du sujet d'étude.

La ville dans le sens le plus général du terme englobe une multitude de significations. Lieu de concentration de l'activité humaine, La ville, par sa nature intrinsèque, constitue un ensemble d'entités en perpétuelle évolution. L'appréhender dans son ensemble n'est pas chose aisée. Si l'on se tient aux aspects géographiques, la ville apparaît comme une superposition multiforme d'éléments variés résultant d'une adaptation de l'activité humaine à un lieu. C'est ce qui explique cette diversité et cette complexité. La ville est en perpétuelle évolution, c'est l'histoire des hommes qui la façonne, c'est pourquoi l'élaboration d'une connaissance de la ville combine des analyses variées : la géographie, et plus précisément la cartographie, l'analyse architecturale, l'analyse historique, sans compter tous les champs d'études de l'analyse sociologique. Je vais me limiter à l'analyse spatiale de la ville, à travers le plan, plus précisément au tissu urbain. Le tissu urbain présente une diversité inhérente à l'activité humaine, il résulte de l'histoire de la ville et des tracés qui se superposent, se mêlent et s'entrecroisent. L'analyse du tissu urbain se réalise à l'échelle de l'îlot et de la parcelle. Ce sont des éléments qui connaissent une évolution permanente : du tracé régulier de la ville issue de la colonisation romaine, en passant par les rues moyenâgeuses ou la ville baroque. La diversité de formes du tissu urbain a toujours été un corollaire de la variété des activités humaines en milieu urbain. Mais c'est durant le siècle passé que la forme de la ville a connu sa plus grande révolution dans

l'organisation spatiale : l'application de la Charte d'Athènes¹ « consacre théoriquement l'éclatement du tissu urbain, la perte de cohésion des ses parties, l'autonomie du bâtiment et de ses voiries » [PANERAI Ph., 1999, p.3] y participe. Philippe Panerai va jusqu'à qualifier cette l'évolution de l'îlot au XX^{ème} d' « agonie d'une organisation spatiale déterminée » [1977, p.5], lorsqu'il la compare aux tissus urbains rencontrés dans la ville européenne des siècles



Fig. 1 Plan de Parme en 1830

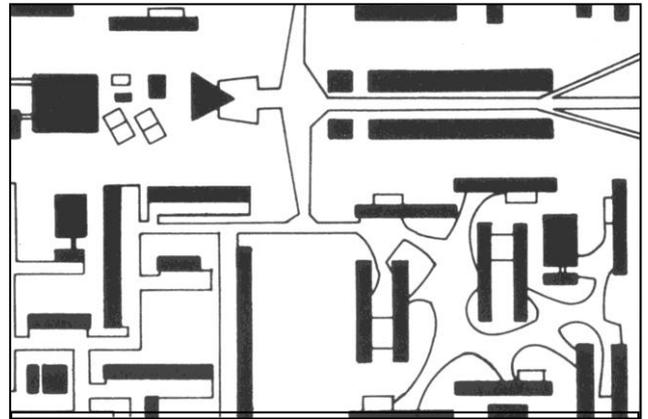


Fig. 2 Plan de Brasilia en 1960

Les figures 1 et 2 présentent deux types de tissus urbains dans une même aire de 350 x 350.
(Extrait de J.Holston, *A cidade modernista*, 1993 in [PANERAI, 1999, p.94])

L'objet de mon travail s'appliquera précisément à déterminer une méthode d'analyse urbaine appropriée pour étudier les variations et l'évolution de ce tissu urbain.

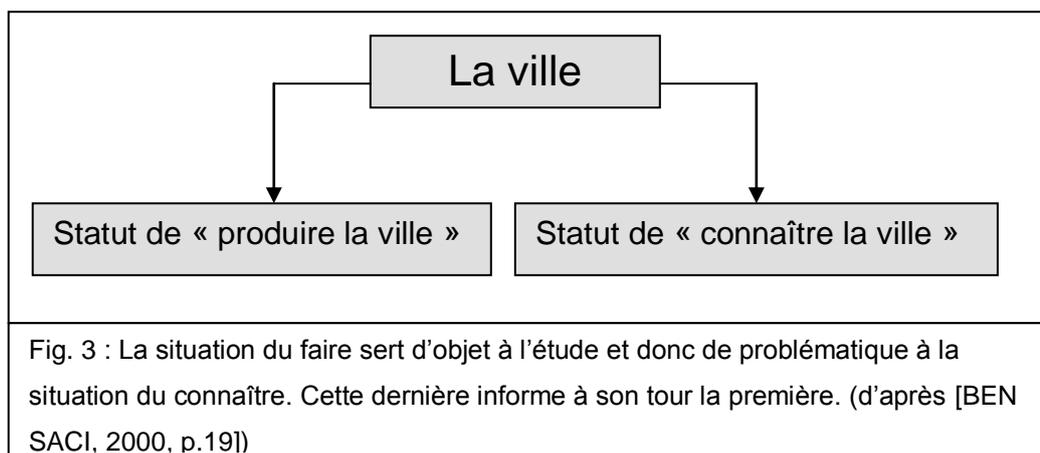
L'objectif premier est de se distinguer des outils traditionnels d'analyse de la ville et d'aborder l'étude des tissus urbains sous un angle nouveau. Les moyens traditionnels d'analyse urbaine (approche historique, géographie, cartographie, analyse architecturale, sociologie) pourront servir de référents pour valider, ou non, la démarche.

La démarche d'analyse de tissu urbain envisagée se base sur l'analyse de forme, sa mesure plus exactement. La mesure objective de la forme sera ici opposée à la notion de subjectivité inhérente à l'observateur. Il s'agit de déterminer les modalités et les outils d'analyse scientifique de la forme, afin de

¹ Le Corbusier, *La charte d'Athènes* [1943], Paris, Editions de Minuit, 1958 concernant la tissu urbain, verset n° 27 : « l'alignement des habitations au long des voies de communication doit être interdit ».

les appliquer à un corpus de formes, c'est à dire un catalogue de tissus urbains divers. Les outils d'analyse de forme existent, ils ont été élaborés par Abdelkader Ben Saci, pour une application orientée vers l'architecture, la démarche appliquée ainsi que les outils utilisés seront définis plus loin. L'intérêt de la mesure de la forme c'est de permettre de « considérer les formes spatiales à la fois dans leur unité et dans leur diversité, de les penser dans un même environnement, et de les rattacher à un même être fondamental, celui du système de production des formes. Ce dernier étant le garant ontologique de l'unicité et de la diversité des formes. » [BEN SACI 2001, p.12]. La morphométrie permettra d'objectiver l'étude des formes, de les classer, les ranger. Le but étant ici de mesurer les distances entre formes, celle ci peut expliciter « sous certaines conditions de généralité, de continuité et de réversibilité, les propriétés intrinsèques des formes » [BEN SACI 2001, p.13]. Le choix de l'analyse du tissu urbain se rapproche de celle de l'architecture, en effet nous nous plaçons dans un contexte aux caractéristiques similaires : tout comme l'architecture, la ville constitue un champ idéal de l'étude de la production de formes par sa diversité intrinsèque.

Afin de mieux situer l'étude de la forme dans le contexte urbain, nous allons exposer ici un parallèle par extension au raisonnement appliqué à l'architecture [BEN SACI 2001, p.19]. L'idée est donc de différencier l'activité de « produire la ville » de l'activité de « connaître la ville » ; celles ci sont différenciables et complémentaires (la seconde suppose la première). Tout comme l'architecture, dont elle est très proche, nous avons ici une dualité entre la ville comme objet de production et comme objet de connaissance.



La morphométrie doit permettre d'appréhender les formes produites par la ville, de les comparer et les classer de manière objective et automatique. Tout comme l'architecture, le domaine de la production de la ville sous-entend des techniques d'agencement d'espaces, des procédés de mise en forme, des positions idéologiques, c'est à dire un savoir et un savoir-faire. Tandis que le domaine de la « science de la ville » suppose des concepts et des méthodes explicites. La distinction est faite entre le domaine de la pratique de production de la ville de celui de l'architecturologie (que l'on considère englober la ville comme une extension de l'architecture, dans tous les sens du terme), la connaissance de la ville de la connaissance architecturologique et ainsi de suite sur tous les domaines en distinguant le faire du connaître.

Situation du Faire	Situation du Connaître
Domaine de la « pratique de la ville »	Domaine « science de la ville »
Savoir et savoir-faire urbanistique	Connaissance architecturologique
Recherche urbanistique	Recherche architecturologique

Fig. 4 : Etabli par extension à l'architecture, ce tableau définit les propriétés intrinsèques des deux statuts de la ville. Le terme architecturologique n'a pas été remplacé, un néologisme urbain se révèle inutile à la bonne compréhension de l'ensemble. (d'après [BEN SACI, 2000, p.21])

Concernant le domaine de l'architecture, le modèle de mesure de la forme se situe dans le domaine du « connaître ». La recherche morphologique se place donc comme recherche architecturologique², la mesure devient objet de la connaissance.

L'étude de formes pourrait être associée aux autres champs d'études de la typologie urbaine, mais elle sera plutôt comprise comme un outil se situant au-delà des spécificités relatives à chacun d'entre eux.

L'analyse typologique du tissu urbain concerne de nombreux domaines, géographiques, historiques, architecturaux ou sociologiques. Il convient de préciser en préalable à l'ensemble de la démarche que cette tentative

² Architecturologie : il s'agit ici du terme pris au sens générique, défini originellement par Philippe Boudon [Boudon 1975, p.4] pour désigner la science de la conception architecturale et non pas la seule théorie de l'échelle qui lui est également associée.

d'analyse de la typologie urbaine se situe en parallèle et en complément de la démarche traditionnelle et ne tente pas de s'y substituer. Il paraît évident que l'analyse de forme n'englobera pas l'ensemble des champs d'analyse de la typologie du tissu urbain : par exemple l'aspect historique du développement du tissu urbain. L'analyse porte sur un catalogue de tissu urbain contemporain. L'étude de l'évolution d'un même tissu urbain à des dates différentes serait tout à fait envisageable, néanmoins il n'en sera pas question ici. L'objectif premier est de tester l'application d'une méthode d'analyse de la forme dans un nouveau domaine. L'analyse du tissu urbain classique prend en compte la troisième dimension, ne serait-ce que pour l'étude des volumétries du bâti ; de son côté le développement des SIG dans la prise en compte de cette troisième dimension et de la topologie 3D a considérablement progressé³. Néanmoins l'analyse des formes se concentrera sur le plan de la ville et c'est pourquoi les outils traditionnels de SIG se révèlent ici suffisants.

Par ailleurs, mon but sera de tester la validité d'une démarche d'analyse par rapport aux données gérées de manière informatique : les SIG, voire même les outils de DAO dans une certaine mesure, permettent de structurer ces données et facilitent énormément l'automatisation des analyses sur celles-ci. Il ne s'agit pas ici de concevoir une intégration directe de ces outils dans un SIG, qui correspond à un travail d'une autre nature (conception d'interface, etc.).

Mon travail s'attachera donc à définir les aspects théoriques et méthodologiques de l'ensemble de la démarche. Il repose essentiellement sur la constitution d'un corpus de typologies urbaines variées. Le matériau choisi par l'étude sera précisé et étudié selon des normes plus conventionnelles afin de compléter cette étude : il sera alors aisé de saisir le degré de pertinence de la démarche mise en rapport à un support d'étude identifié de façon précise.

³ Le mémoire d'Anne Sophie ALLARD et de Benoît ROVER s'intéresse à leur développement en préalable à leur travail. Ils citent notamment : les recherches du sous axe A2, Cassini, du laboratoire PSIG, la thèse de Michael Kofler [KOFLER 1998], la thèse de Siyka Zlattanova [ZLATANOVA 200], le projet REMUS du laboratoire GAMSAU, à l'école d'architecture de Marseille.

Pour simplifier les deux axes principaux de mon travail peuvent se présenter de la manière suivante :

- ⇒ **Apport d'un nouvel outil à l'analyse urbaine et aux SIG**
- ⇒ **Utilisation d'un outil d'analyse de forme existant afin de développer un nouveau champ d'application**

ETAT DE L'ART

Cette étude se focalise sur deux axes de recherches majeurs : l'analyse urbaine et l'analyse de la forme par analyse fréquentielle. Elle concerne également le domaine du développement des systèmes d'information géographique, en effet ceux ci apportent des outils d'analyse informatique au domaine géographique et par extension au domaine urbain. L'une des origines et des champs d'application principaux des SIG se retrouve au service du domaine urbain. Dans cet état de l'art, la distinction sera donc effectuée entre ces différents domaines.

L'analyse urbaine

L'analyse de la géographie urbaine est un sujet maintes fois abordé, cependant il ressort d'une manière générale que l'étude de l'espace urbain se porte à une échelle importante, le détail de l'analyse de la ville va rarement au de là du quartier. L'échelle de l'îlot, à fortiori celle du parcellaire, s'étudie plus rarement. L'étude de la ville balancerait donc entre deux échelles : globalisante du point de vue du géographe et plus particularisante à l'échelle des architectes. Philippe Panerai relève cette situation particulière dans son ouvrage « Analyse urbaine » [PANERAI, 2000]. Il expose également plusieurs outils de lecture de la ville. Il apparaît que la lecture de la ville peut se faire par des approches différentes : la lecture séquentielle de la ville par exemple, l'analyse visuelle de Kevin Lynch [LYNCH, 1960], l'intégration du mouvement dans l'analyse urbaine par Auguste Choisy [CHOISY, 1895] ou Raymond Unwin [UNWIN, 1909] qui se réfère à Camillo Sitte dans son interprétation du paysage urbain de Buttsted, comme le montrent les figures suivantes. Cependant le travail de Philippe Panerai nous intéresse plus particulièrement lorsqu'il aborde la définition des tissus urbains et des typologies.

Les tissus urbains

Les tissus urbains sont décrits comme la superposition du réseau des voies, des découpages fonciers et des constructions se rapproche de celle qui sera retenue dans l'analyse « traditionnelle » du tissu urbain de ce travail. Philippe Panerai structure son propos en exposant l'analyse des tissus urbains par la

lecture des éléments successifs de cette superposition. La description et l'analyse hiérarchique du réseau viaire et des espaces publics structurent et divisent le tissu urbain en autant de portions de territoire urbain, éléments distincts qui font eux même apparaître les découpages fonciers et parcellaires.

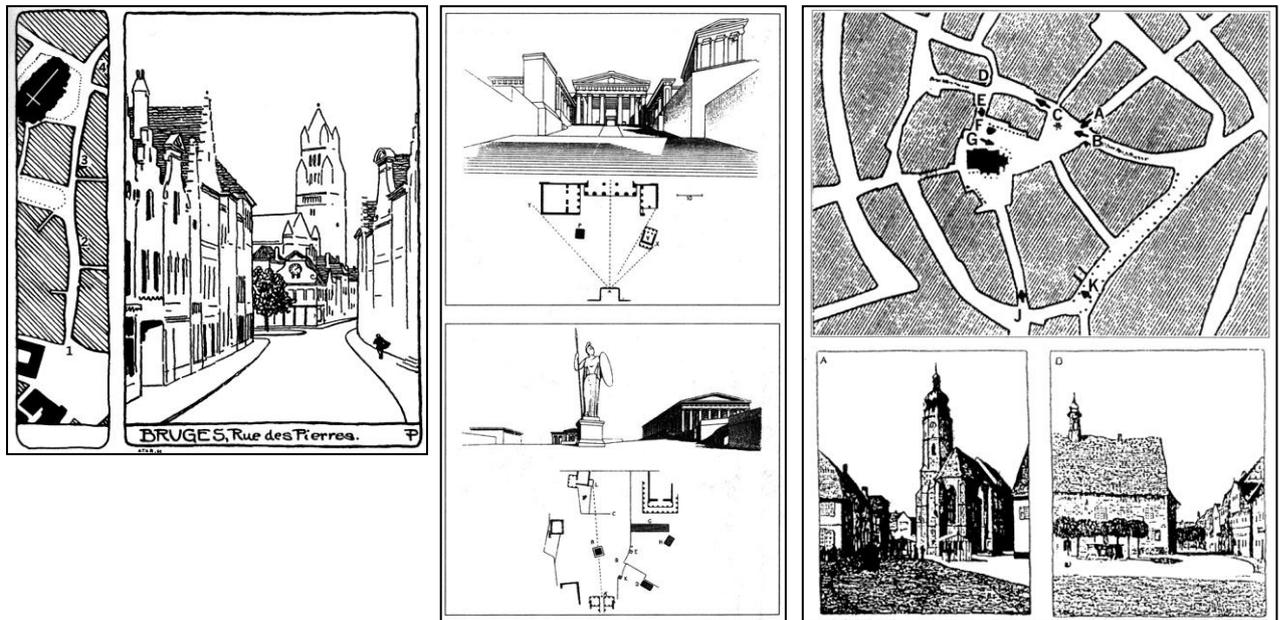


Fig. 4, 5, 6 de gauche à droite: La ville analysée par Camillo Sitte (édition de 1889, par Camille Martin). Le mouvement dans la ville à Athènes sur l'Acropole selon Auguste Choisy [CHOISY, 1895] et à Buttstedt selon Raymond Unwin [UNWIN, 1909].

La relation du parcellaire à la rue se révèle fondamentale dans l'existence du tissu urbain. Le parcellaire par sa nature intrinsèque conserve la trace des états antérieurs, « la marque de l'utilisation ancienne du sol » [PANERAI, 1999, p. 86]. Par ailleurs Panerai souligne la difficulté de lecture de la troisième dimension ; que l'on se place du point de vue de la topographie, le relief, du lieu ou de celui de la hauteur des bâtiments.

Typologies

Le terme typologie comprend une signification vaste qui se retrouve essentiellement dans la notion de classification. Lorsque Paul Frankl affirme que «la création des formes spatiales devient une sorte de combinaison scientifique » [FRANKL, 1968] en observant les variations de dessin sur une planche de Léonard de Vinci, « c'est l'idée d'une analyse de l'architecture en terme d'éléments d'opérations, de croissances qui rompt l'histoire de l'art traditionnelle » [PANERAI, 1999, p.106].

Philippe Panerai présente ensuite dans son ouvrage plusieurs exemples de typologies, dont certains seront repris ici en fonction de l'intérêt de leur démarche et les similitudes qui peuvent exister avec ce mémoire.

Jacques Nicolas Louis Durand par sa typologie analytique, se fonde sur les propriétés géométriques des plans, pour découvrir les éléments qui les composent et les articulent. Son but est de fournir un outil d'aide à la conception du cadre bâti à partir d'un catalogue de références typologiques et de l'identification des règles qui les structurent. Son travail, suivi de nombreuses réalisations, constitue en quelque sorte les prémisses d'une typologie générative. Il est intéressant d'établir un parallèle entre la téléologie des recherches de Durand et celle du travail d'Abdelkader Ben Saci présenté plus loin.

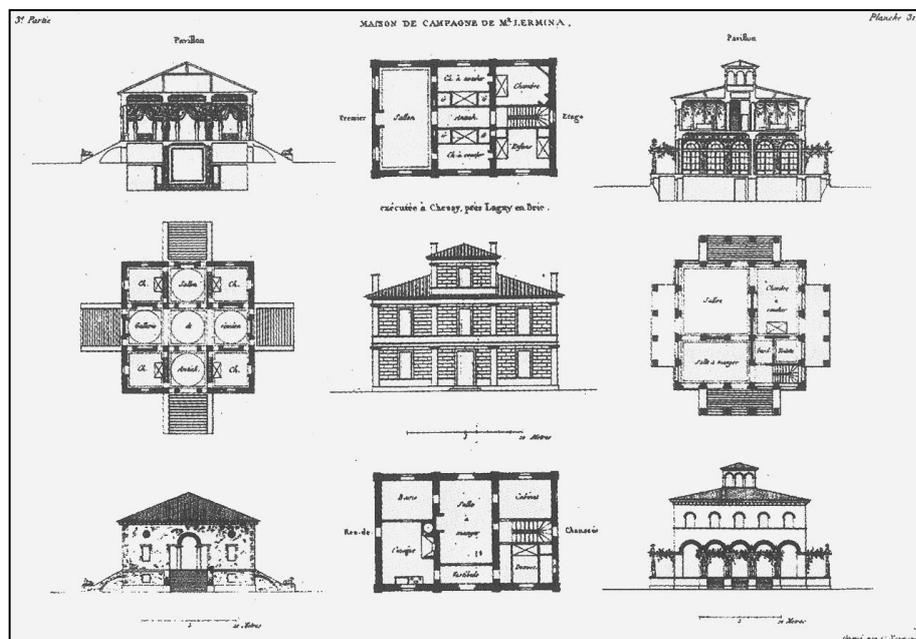


Fig. 7 : Le type opératoire chez Durand. Pour Durand, le « type » est un schéma qui respecte les convenances et permet rapidement l'élaboration du projet. (d'après [PANERAI, 1999, p.107])

Des travaux réalisés en Italie, à Venise, par Saverio Muratori, étudient la notion de typologie sous angle différent : le tissu urbain est appréhendé par « une analyse typologique qui tente d'éviter de tomber dans la classification purement abstraite et refuse d'autre part de se cantonner dans une contemplation purement esthétique » [Muratori S., in PANERAI, 1999, p.117]. La typologie comprend ici non seulement les bâtiments mais également l'ensemble de leurs environnements. Ces travaux auront pour suite les travaux conjoints de Carlo

Aymonino et d'Aldo Rossi publiés en 1966 sous le nom de « la città di Padoua ». Le tissu construit de la ville est qualifié de « forme urbaine ». La typologie apparaît donc comme un instrument, un outil de travail.

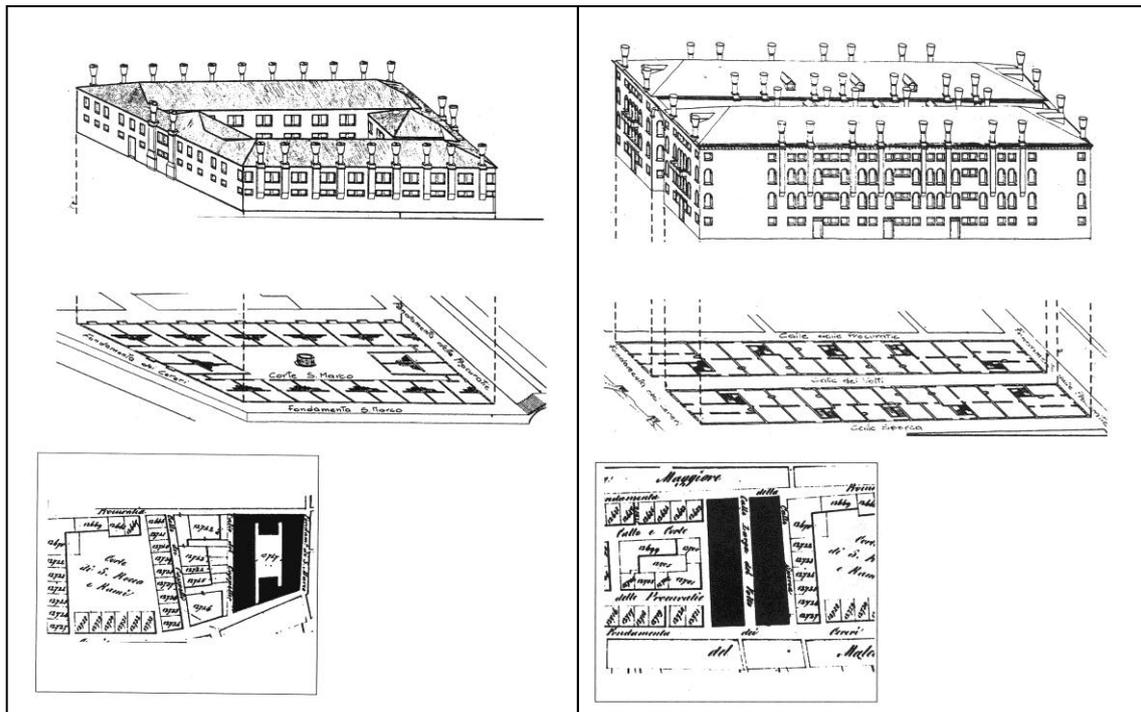


Fig. 8 : Le tissu et le type, à Venise, à droite nous retrouvons un tissu « a calle » et à gauche un tissu « a corte » (in [PANERAI, 1999, p.115 et 116])

Les travaux menés en Italie soulignent la nécessité de connaissance de l'objet étudié avant de passer à son interprétation. Cette phase de connaissance suppose l'élaboration de types, « objet abstrait, construit par l'analyse, qui rassemble les propriétés essentielles d'une catégorie d'objets réels et permet d'en rendre compte avec économie » [PANERAI, 1999, p.122]. Panerai souligne également l'importance de la définition du corpus. Celle-ci suppose un découpage et une classification. L'étude du tissu urbain considère l'échelle de la parcelle comme niveau d'analyse pertinent ainsi que le regroupement de parcelles, l'îlot. S'en suit une délimitation de la zone d'étude, qui varie en fonction de la problématique et des moyens disponibles. L'étape suivante est un classement, basé sur un inventaire systématique, des différents tissus à étudier. La typologie se construit donc progressivement, par abstraction rationnelle, son élaboration passe par plusieurs étapes intermédiaires.

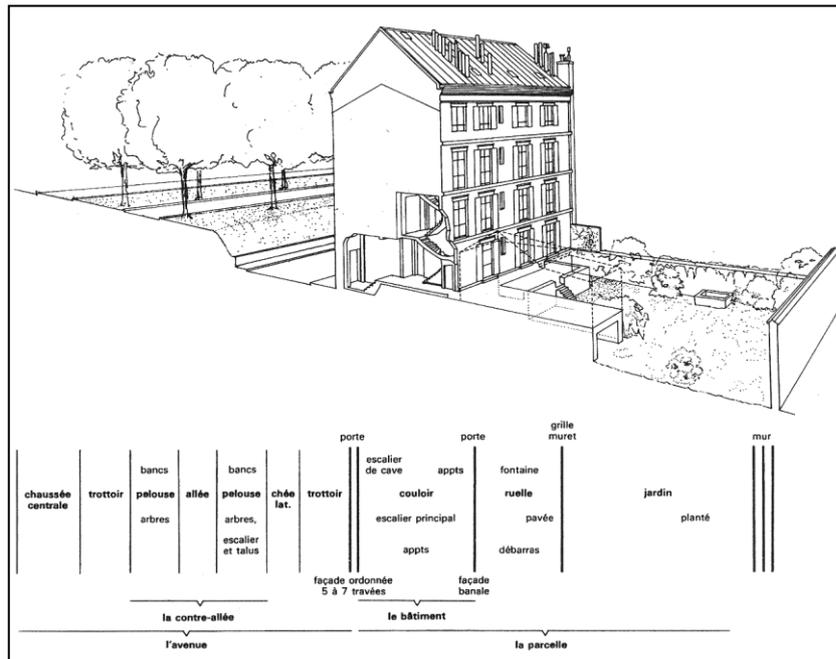


Fig. 9 : Versailles, une parcelle. La représentation par le dessin participe à l'analyse typologique.(d'après [PANERAI, 1999, p.123])

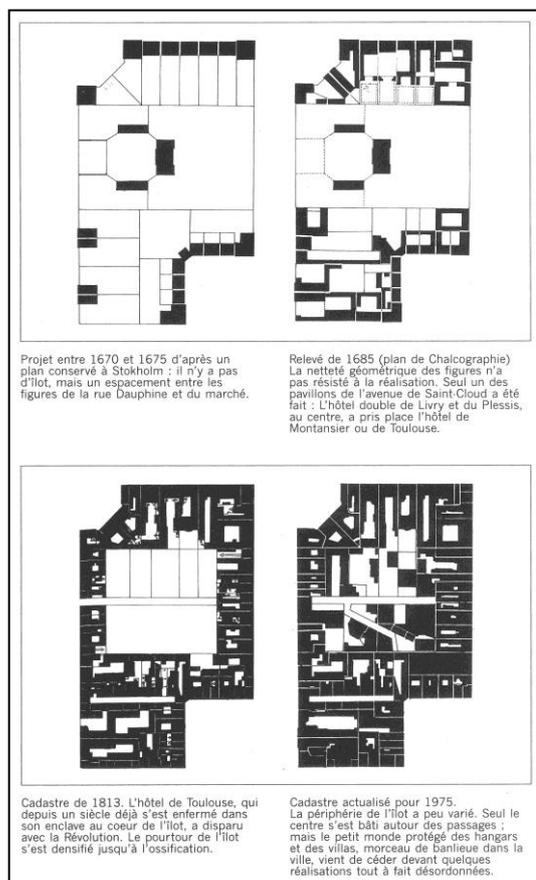
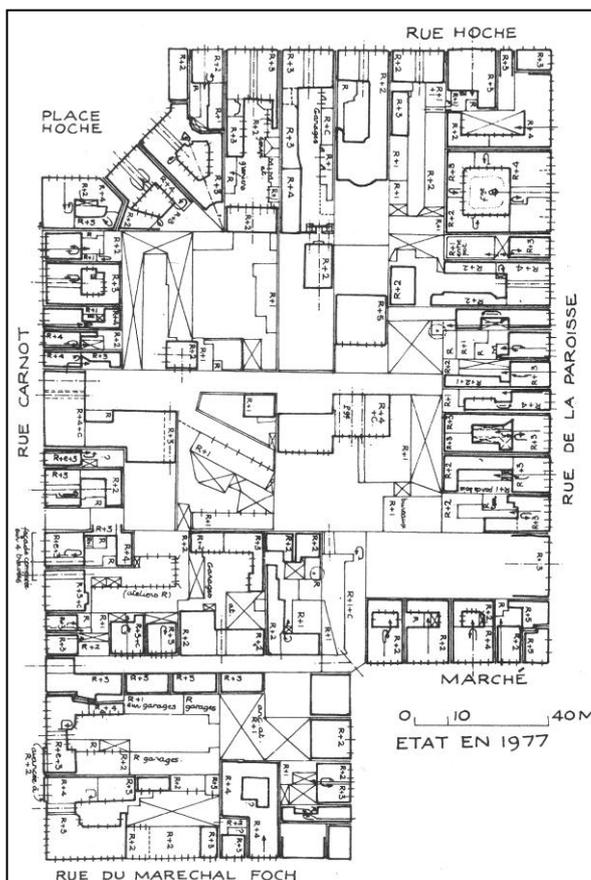


Fig. 10 : Typologie concrète : un îlot, formation de l'îlot de Toulouse à Versailles. Le plan cadastral sert de support à la collecte d'informations relatives à l'îlot étudié. (relevé de J. Castex d'après [PANERAI, 1999, p.124 et 125])

Les outils d'analyse du tissu urbain en général

Les SIG, constituent un outil permettant de se concentrer sur la topologie et d'effectuer des requêtes spatiales sur une base de données géographiques. Les possibilités offertes par les SIG et leurs applications seront exposées plus loin.

Des travaux récents sur la syntaxe spatiale utilisent de manière effective des outils dans l'analyse et la conception de projets architecturaux ou urbanistiques. Le Space Syntax Laboratory (SSLab, www.spacesyntax.com) poursuit des recherches combinant morphologie mathématique et sciences humaines. Les outils de la « syntaxe spatiale » ont pour support le plan et permettent de visualiser diverses analyses, qu'elles soient issues de l'observation ou de la simulation. Ces outils à la précision confirmée in situ, servent à étudier les mouvements dans un espace construit. Le logiciel Axman (plate forme Macintosh) peut calculer un indice de configuration d'un tissu urbain. Par exemple, la corrélation entre le niveau de complexité local correspondant à un degré de mémorisation moyen de changement de direction et le niveau de complexité global se révèle évidente sur les représentations sous forme de cartes axiales de Grand Londres.

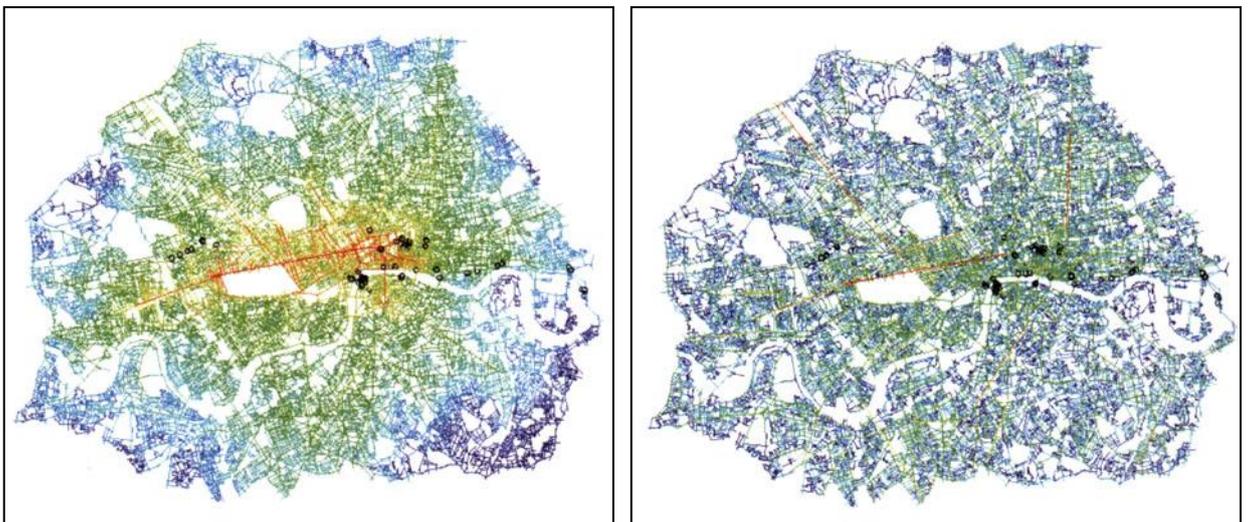


Fig. 11 et Fig. 12 : Cartes axiales du Grand Londres, la corrélation entre la configuration globale (à gauche) et la configuration locale (à droite) apparaît de façon très nette.

(Document University College London, in urb.AO, mars 2001)

La recherche sur la syntaxe spatiale se consacre à l'ensemble des échelles de la ville, de la structure globale à l'architecture. La syntaxe spatiale se destine à affiner les techniques prédictives des flux de circulation. Tout comme l'analyse morphologique, il s'agit ici d'un ensemble de moyens (formalisme mathématique, outils de modélisation spatiale, techniques d'interprétation de l'espace) qui visent à se substituer aux techniques empiriques.



Fig. 13 : Vue aérienne du secteur de St Pancras et King's Cross

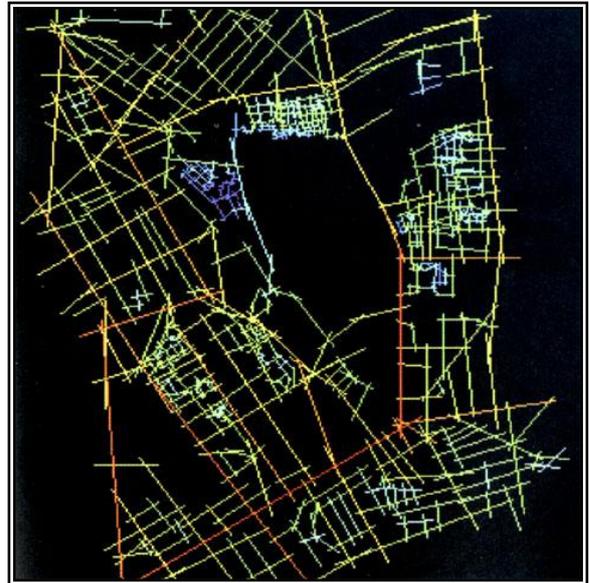


Fig. 14 : Carte axiale montrant la configuration initiale du quartier

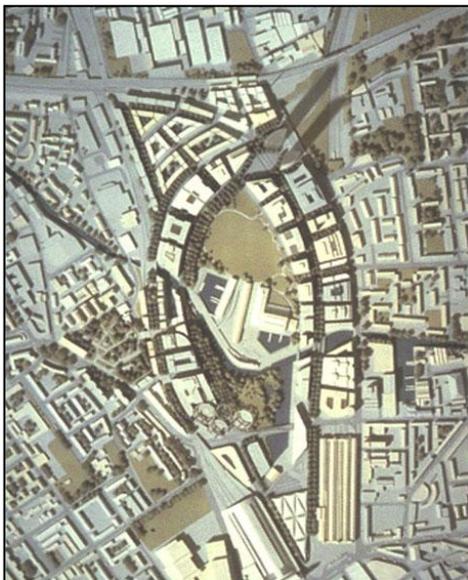


Fig. 15 : Maquette du projet de Foster & Partners

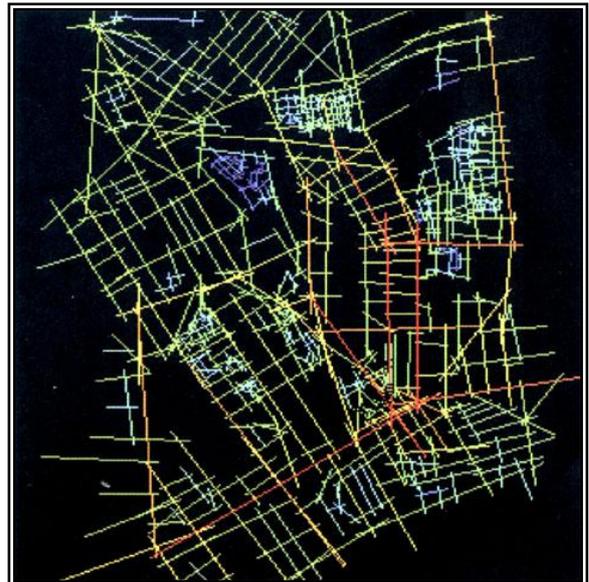


Fig. 16 : Carte axiale montrant la configuration du quartier après projet

Fig. 13 à 16 : Les simulations basées sur le modèle syntaxique ont permis d'optimiser le plan de masses du projet, qui devait se greffer sur le réseau viaire de Londres. Le projet lauréat du

concours n'a pas été réalisé. Les cartes axiales ont été réalisées en collaboration par Space Syntax Limited (SSLtd). (Document University College London, in urb.AO, mars 2001)

Les outils d'analyse syntaxique présentés, utilisés dans le domaine de la planification urbaine ne révèlent qu'une partie de leurs applications, la plus proche d'un système automatique de reconnaissance de formes. Les applications professionnelles, essentiellement développées dans le monde anglo-saxon recouvrent des champs aussi divers que la conception d'espaces intérieurs pour des bureaux, des centres commerciaux, ou de grands équipements. Les travaux se développent donc à toutes les échelles, néanmoins la syntaxe spatiale rencontre des difficultés dans la prise en compte d'un élément indissociable de la morphologie urbaine : le relief. Nous le verrons plus loin, la troisième dimension suscite également des difficultés aux SIG : c'est l'un des axes de recherche les plus importants dans ce domaine, ce qui est révélateur de cet état de fait.

Morphométrie et modélisation systémique

Dans le domaine de la morphométrie et de la modélisation systémique de la forme, la thèse d'Abdelkader Ben Saci [Ben Saci, 2000] constitue la référence d'une application liée à l'architecture. Le travail de recherche exposé dans « une théorie générale de l'architecture » va au-delà de la simple analyse des formes dans un domaine précis. Il a pour vocation la compréhension et la modélisation de la production de formes, « notamment dans ce qui échappe aujourd'hui aux théories de la conception » [Ben Saci, 2000, p. IX]. Le but de cette recherche est d'aboutir à une automatisation du système de production de formes afin de réduire l'écart entre l'outil informatique et l'activité de production de forme. La production d'architecture et la production de la ville rassemblent des questionnements identiques. C'est pourquoi établir un parallèle entre ces deux gestes est potentiellement pertinent. Quant à la question de la forme, il est possible d'affirmer que la ville et l'architecture se situent au cœur de préoccupations similaires, tout est une question d'échelle. L'importance du travail d'A. Ben Saci dans cet état de l'art prend ici toute sa signification, car il me permettra de préciser par la même occasion un ensemble de notions liées à ce domaine et indispensables à la bonne compréhension de l'analyse de la forme. Ces notions sont définies dans l'état de l'art, cependant le lecteur qui

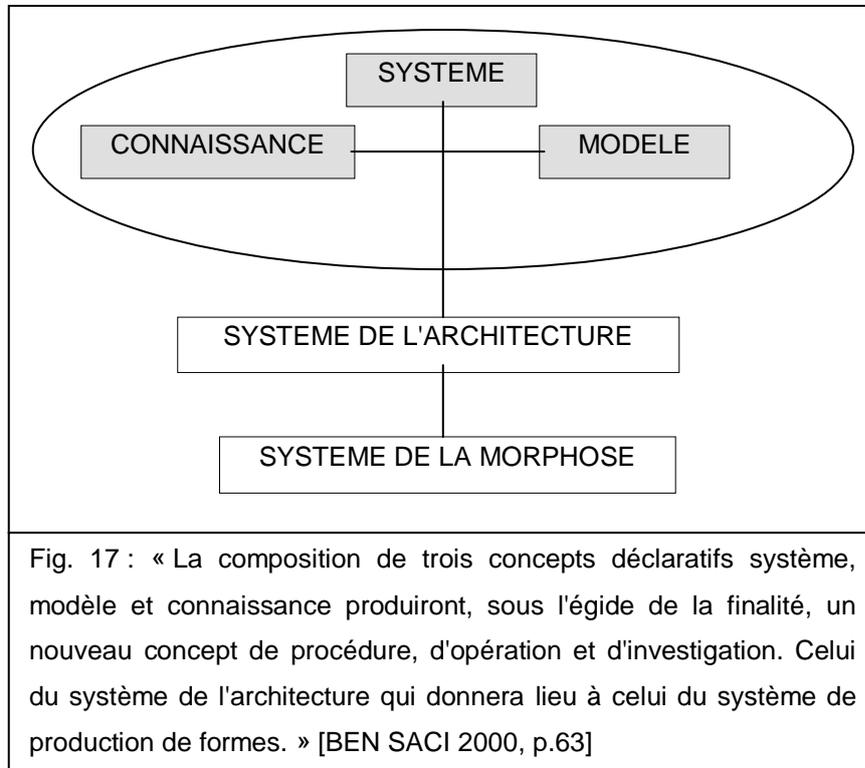
s'intéressait uniquement à la partie expérimentale et à ses résultats peut se rendre directement à la description de la cinquième partie qui introduit les outils d'analyse et présente les résultats issus de leur application. Le travail d'A. Ben Saci fournit un ensemble d'outils méthodologiques nécessaires à la réalisation de ma démarche, c'est pourquoi cet état de l'art le présente de manière très complète, il constitue une référence et définit les méthodologies et les notions essentielles relative à l'études des formes

La forme est considérée sous l'ensemble des ses aspects : sur le plan épistémologique, objectivation de la forme dans le cadre de l'architecture, sur le plan philosophique, « diagnostic des compréhensions de l'acte de donner forme », sur le plan pragmatique, « outil de caractérisation de l'information morphologique permettant de comparer et de discriminer les formes, mais aussi de déceler des structures morphologiques invisibles à partir de formes visibles » [Ben Saci 2000, p. IX]. C'est bien entendu cette dernière approche qui correspond à la démarche appliquée à la ville.

La démarche d'Abdelkader Ben Saci est beaucoup plus vaste : l'objectif est une théorie de la connaissance de l'architecture et la constitution d'un fondement d'une modélisation de la forme. Ce sont cinq thèmes qui structurent cette démarche autour de la forme :

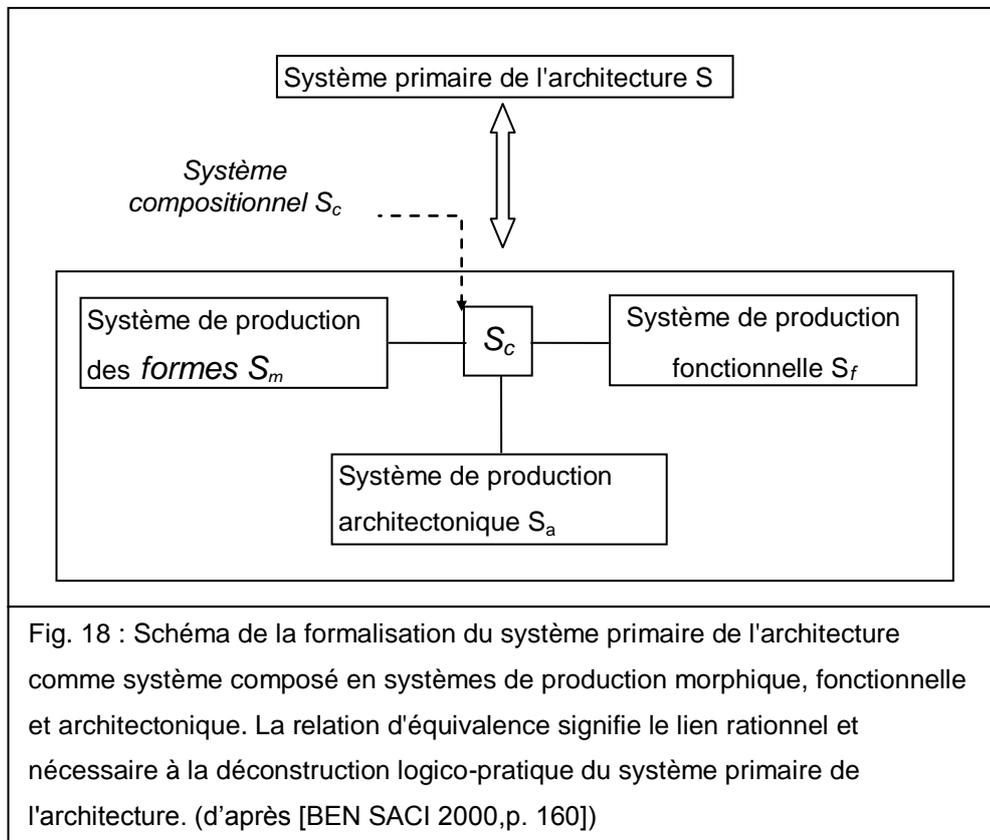
1. Paradigme systémique de connaissance

Le paradigme donne le cadre conceptuel dans lequel s'inscrit la description ou l'explication de l'objet à modéliser. La notion de paradigme englobe les stratégies, les principes, les postulats et les attitudes mises en œuvre par une science pour déterminer la réalité. En l'occurrence il s'agit d'une étude orientée sur un faisceau de données liées qui aboutissent à un système de l'architecture, prémisse du système de la morphose.

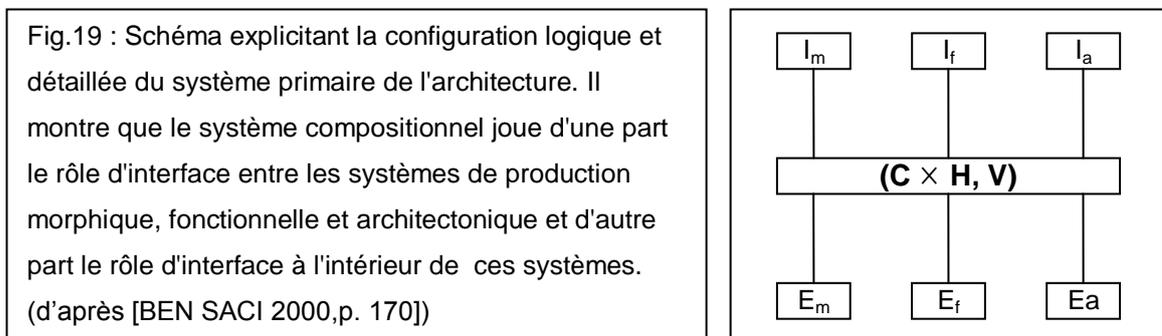


2. Système de l'architecture

Le système de l'architecture est envisagé comme une chose simple et la complexité inhérente à son étude résulte de l'interférence des environnements interne et externe de ce système. La proposition est faite de disloquer le système de l'architecture en parties constitutives, à l'image de la séparation qui existe aujourd'hui entre la biologie, la physiologie et l'anatomie, autrefois pensée comme un seul corps de connaissance. L'étude séparée de ces parties constitutives devra permettre de comprendre l'ensemble et les interactions qui les lient. Ce raisonnement abouti à distinguer un système primaire de l'architecture qui se formalise comme suit :



Si l'on considère que le produit cartésien $C \times H$ représente les possibilités logiques et les structures rationnelles de ce système primaire de l'architecture. L'intervention du concepteur peut être représentée par la lettre V , on aboutit alors à une formule du système compositionnel qui sera le couple : $(C \times H, V)$. Or le système primaire de l'architecture est le composé de production morphique (m), fonctionnelle (f) et architectonique (a), qui se distinguent entre environnement interne I et externe E reliés par l'interface du couple $(C \times H, V)$.



L'exposé du système primaire de l'architecture montre qu'il peut finalement être réduit au schéma général suivant. Ce schéma intègre les configurations spatio-temporelles que les usagers associent à l'espace architectural, environnement externe du système de l'architecture, comme interface du système.

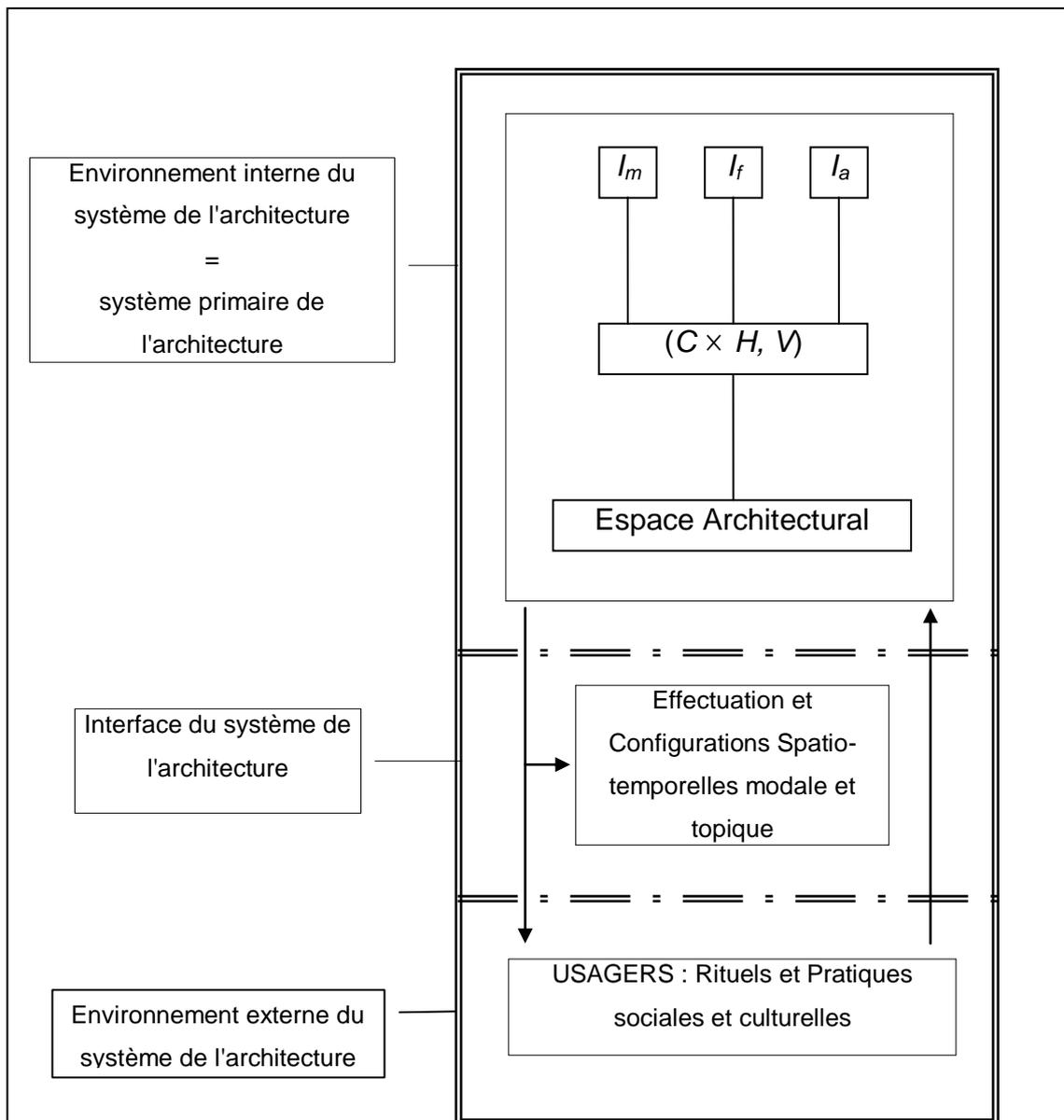


Fig. 20 : Schéma montrant, dans le cas des pratiques sociales et culturelles et configurations spatio-temporelles comme environnement externe et interface, le principe général du système de l'architecture fondé sur le concept du système primaire de l'architecture. (d'après [BEN SACI 2000,p. 172])

La détermination du système primaire de l'architecture et des interactions internes et externes qui le régissent, permet d'appréhender les concepts liés à la réalité architecturale sous un nouveau jour. Sa déconstruction jusqu'aux sous-systèmes et aux entités premières permet ainsi de saisir sa structure. Le concept du système primaire de l'architecture permet d'atteindre un niveau supérieur de compréhension de l'architecture, en la décomposant en espace architectural, espace de conception, etc. Le système de production morphique révèle ainsi une autonomie existentielle préalable. « En effet, l'investigation formelle du

système primaire de l'architecture permet un diagnostic objectif et opératoire de la question de la forme au sein de l'architecture et fonde un axe de recherche morphologique en terme de recherche architecturologique. » [BEN SACI 2000,p. 174].

Tout l'intérêt de cette méthodologie serait d'être appliquée à une formalisation complète du système primaire de l'architecture. La production architecturale perdrait l'opacité du dogme de la création et « le refuge intitulé art créateur, intuition ou inspiration » [BEN SACI 2000,p. 179].

L'ensemble du raisonnement appliqué ici à analyser, décomposer et segmenter l'acte de produire l'architecture peut être transposée quasi littéralement à l'acte de produire la ville. Un système primaire de l'urbain présentera une conformation identique au niveau de détail étudié. Dans le contexte urbain l'acte de donner forme cristallise les mêmes interrogations et aboutira donc à un résultat identique. Tout l'intérêt de la démarche serait justement de l'appliquer à la recherche des différences qui se dissimulent derrière des notions qui demeurent très proches tant d'un point de vue purement pragmatique que d'un point de vue plus philosophique. Il n'en sera évidemment pas question dans ce travail qui se concentre sur la morphose.

3. Modèles actuels de compréhension de la morphose et critique de ces modèles

L'enjeu de cette troisième partie est de sortir de la dualité de la confrontation des tenants de l'approche sensible, intuitive et artistique aux adeptes des procédures systématiques de conception. C'est par l'interrogation des explications fournies à la production de formes que l'on retrouve les compréhensions sous-jacentes de la morphose.

A. Ben Saci relève trois axes structurant la morphose :

- la conception mythique, qui regroupe les modèles humanistes, historiciste, et mimétique

- la conception empirique , qui regroupe les modèles physicaliste, géométrique et graphique. C'est à ce domaine que se rattachent l'espace du dessin et par extension celui de l'informatique et de la virtualité numérique, cependant celui ci n'explique pas la production morphique : son objet et sa problématique relèvent d' « une modélisation normative de la représentation de l'espace et non pas de d'une explication de la morphose ni d'une modélisation du système morphotique. » [BEN SACI 2000,p. 270].
- La conception explicative, qui regroupe les modèles fonctionnels, cognitif et celui de la théorie de l'échelle de Philippe Boudon [BOUDON 1992 &1994], où la dimension morphique apparaît comme une dimension de l'acte de donner forme et mesure à l'espace.

La structuration proposée se détache des circonstances historiques, sociale, doctrinale, idéologique ou épistémologique de chaque classe de compréhension, pour se maintenir à l'essentiel : « elle est opératoire et suffisante pour effectuer un changement de paradigme de conception de la morphose » [BEN SACI, 2000, p.182].

Il s'agit ici de mettre en scène une nouvelle ambition et définir les nouveaux objectifs de la morphologie. Le postulat selon lequel la mesure de la forme informe sur production des formes est posé.

La production de forme se révèle être la composante d'un processus de médiation de mise en forme.

A. Ben Saci conclue cette partie par une re-formulation de la question de la morphose. Le problème de la connaissance du système morphotique, auquel appartient la morphose, n'est pas dans la connaissance du processus de conception, mais « dans l'interaction et la relation qui lient les environnements internes et externes du système morphique. Cette partie s'occupe de déterminer la morphose, à exposer et critiquer un ensemble de modèles de compréhension de la morphose : l'ensemble du questionnement soulevé dans cette réflexion et l'ouverture qu'elle

suscite se retrouve tant dans le domaine des modèles de la conception architecturale que de la conception de la ville.

4. Objectivation de l'étude des formes

Cette partie se consacre dans un premier temps au rapport de la forme par rapport à la perception, à l'esthétique et à la culture, pour arriver dans un second temps à modéliser « l'acte de donner forme comme partie constitutive d'un processus d'information morphique » [BEN SACI, 2000, p.32]. La perception visuelle est une notion liée à la subjectivité de l'observateur, la position de ce dernier relative à l'objet observé influe sur la perception de la forme. C'est pourquoi morphologie dépasse la saisie naturelle et intuitive de la forme, afin d'objectiver l'étude de la forme, pour en faire l'étude scientifique.

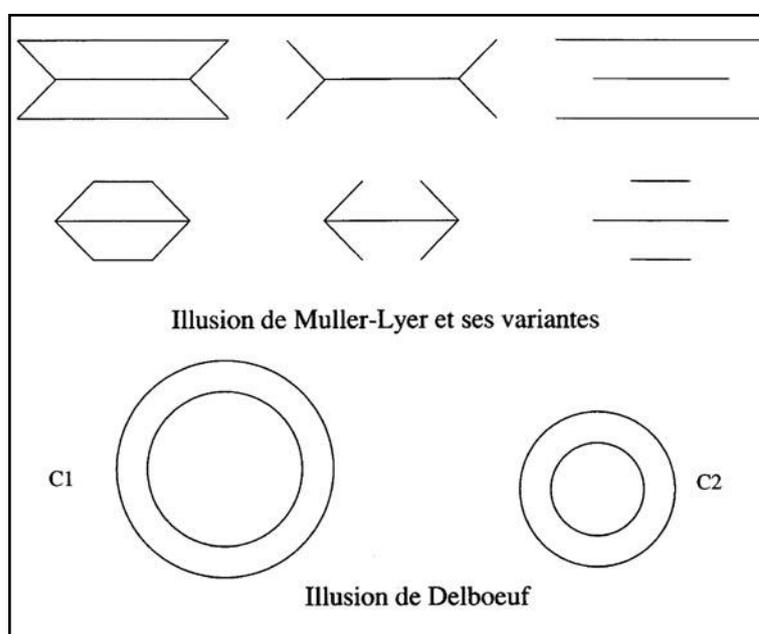


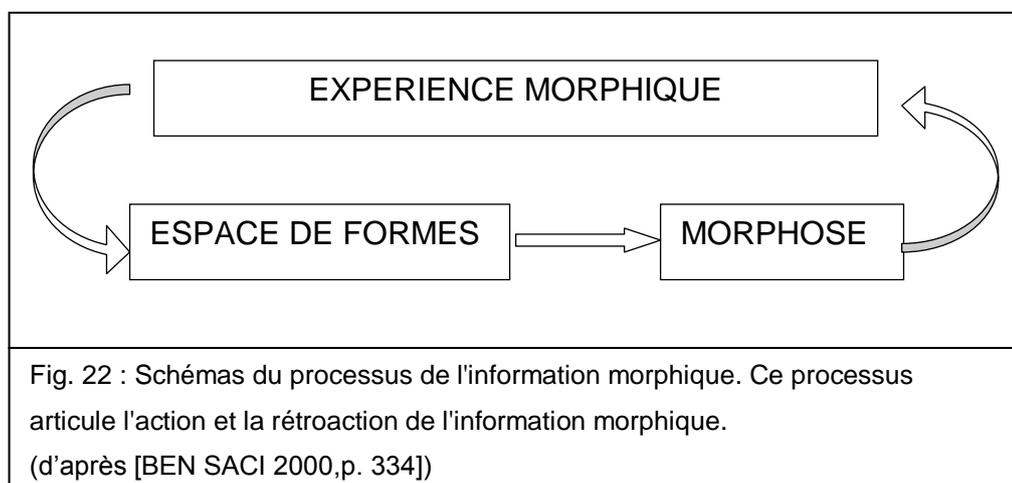
Fig. 21 : La perception ne peut être source objective de mesure donc de connaissance des formes spatiales. Les médianes des figures de Müller-Lyer ont la même longueur alors qu'elles sont perçues de longueurs différentes. De même pour les deux paires de cercles concentriques de l'illusion de Delboeuf, le cercle intérieur du couple C1 étant de diamètre égal à celui du cercle extérieur du couple C2, mais sont perçus de diamètres différents. Tandis qu'une simple opération métrique portée sur ces médianes et ces diamètres donne une longueur constante. La mesure est un outil d'objectivation capable de faire abstraction de l'environnement de perception de la forme. Ici, il s'agit des pennures internes et externes pour l'illusion de Muller-Lyer et le cercle interne ou externe pour l'illusion de Delboeuf. [BEN SACI, 2000, p.320]

La modélisation morphométrique n'a pas pour vocation la connaissance des données liées à l'esthétique. La notion et la science du « beau », la sensibilité esthétique varient selon les cultures et les époques. Les spéculations autour de ces notions distinguent de façon évident l'esthétisme de la volonté d'objectiver l'étude de la forme. La confrontation de la forme à la culture, l'esthétique et à la perception fait ressortir la nécessité de se démarquer de ces dernières. En effet, la mesure de la forme lorsqu'elle est confrontée à l'esthétique et à la culture révèle le caractère non-opérateur de l'étude sous cet axe pour la connaissance et la modélisation du système morphique.

Une autre notion est ici précisée, il s'agit du processus d'information morphique.

Le processus d'information morphique valide la modélisation morphométrique, celui-ci est constitué de trois parties :

1. la morphose, qui est l' « action de donner forme à une portion de l'espace ». La forme est la phénoménalité spatiale de cette action constituant l'événement morphique, l'information » [BEN SACI, 2000, p.333].
2. l'espace de formes
3. l'expérience morphique, c'est à dire la résultante de « l'ensemble des rapports morphiques qu'entretient l'homme avec les formes spatiales.



Comme le montre le schéma la morphose apparaît comme l'interface qui relie l'espace de forme à l'expérience morphique. Le système défini présente une rétroaction de l'ensemble caractéristique de sa dynamique intrinsèque. Le processus d'information morphique, par ses composantes permet la composition de nouvelles propositions morphiques.

La mesure information morphique se base sur les fondements de la théorie de l'information ; celle ci établit l'hypothèse principale selon laquelle l'information J fournie par un événement A est une fonction de sa probabilité P . A. Ben Saci présente les différentes hypothèses de calcul de la mesure de l'information de la manière suivante :

1. Claude François Picard affirme que « *toutes les mesures de l'information (...) concernent des espaces finis et sont définies sur un espace de probabilité $(A, \mathcal{P}(A), P)$ où P est une distribution de probabilités définie sur les N événements élémentaires constituant A et où $\mathcal{P}(A)$ est l'ensemble des parties de A* » [PICARD 1977, p.126].
2. Joseph Kampé De Fériet note cette même mesure de l'information [FERIET, 1978, p.80] $J(A) = h[P(A)]$
3. Wiener utilise la mesure logarithmique pour la fonction h et la formule de Shannon équivaut à choisir, pour l'information fournie par un événement A , l'expression suivante : $J(A) = \text{Log}_2(1/P(A))$

Cette dernière formule accorde une forte valeur informative à une forme peu probable et vice versa. L'information se mesure soit à priori, c'est à dire que le calcul renseigne sur la probabilité de réalisation d'un événement, soit à posteriori, ce qui permet d'évaluer l'apport d'une forme nouvelle.

En ce qui concerne les applications de ce système A . Ben Saci cite les travaux de Duprat et Paulin, sur les matériaux suivants : « le système de la façade et de la baie : maisons à loyer urbaines du XIX siècle [DUPRAT, PAULIN, 1995] et les « Usines traditionnelles du moulinage de la soie en Ardèche » [DUPRAT, PAULIN, 1985].

Je reprends ici la présentation de l'un de ces travaux que fait A. Ben Saci dans sa thèse afin d'illustrer cette application : les trois figures qui suivent correspondent à l'analyse des lyses du premier des travaux de Duprat et Paulin. La première figure présente les lyses possibles du système de façade, le tableau comporte la mesure J sur les niveaux A à F (du RdC au cinquième étage) pour en arriver à l'histogramme de distribution de l'information. La mesure de l'information apportée par les lyses a été calculée a posteriori. Ces travaux révèlent que plus un système est épuisé (un maximum d'évènements réalisés) plus son apport d'information est faible. A contrario, le système fourni un maximum d'informations pour une forme nouvelle.

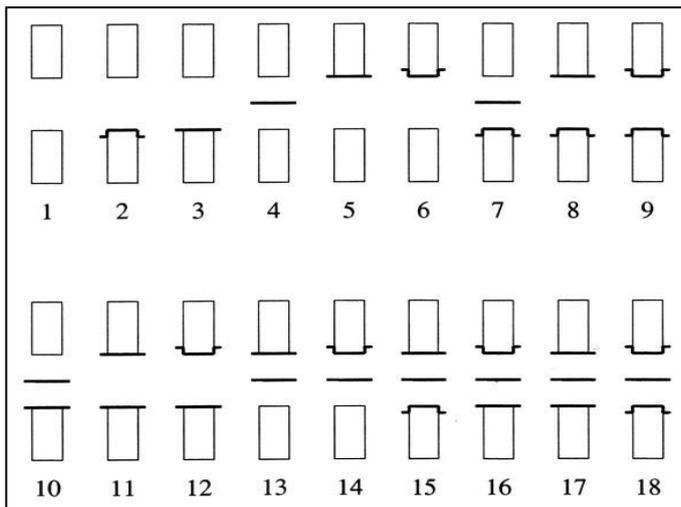
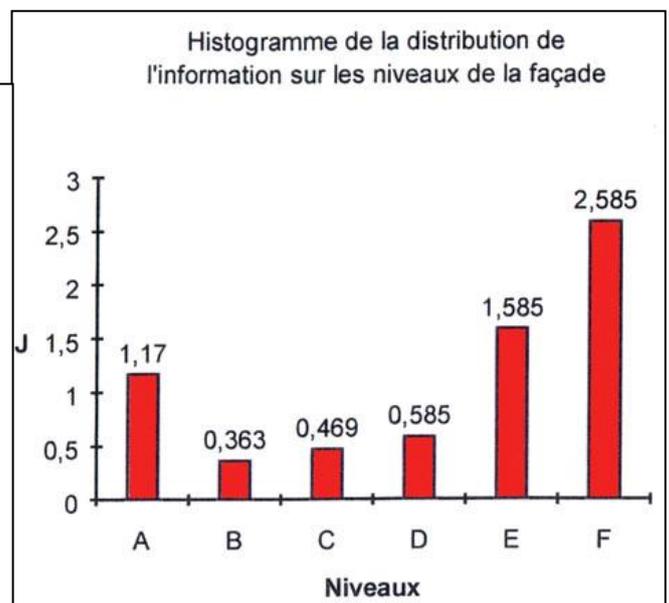


Fig. 23 : Résumé de l'ensemble des lyses possibles du système de la façade et de la baie des maisons à loyer urbaines du XIXe siècle [DUPRAT, PAULIN, 1995, p.114-120]

Fig. 25 : Devant cet histogramme, Bernard Duprat, auteur de l'analyse morphologique de ce système de la façade des maisons du XIX^e siècle à Lyon, exprime l'idée que les architectes des années 1830 déploient dans les façades des maisons à loyer urbaines le décor de niveau F. Comme si ces architectes savaient intuitivement que les autres niveaux étaient épuisés en matière d'information morphique et que seul le niveau F, présentant un potentiel informatif important non encore exploité, restait à explorer et à exploiter.

Niveau	Nb de lyses possibles	Nb d'évènements réalisés	Mesure de l'information J
A	18	8	1.170
B	18	14	0.363
C	18	13	0.469
D	18	12	0.585
E	18	6	1.585
F	18	3	2.585

Fig. 24 : Tableau illustrant la mesure J de l'information apportée, a posteriori, par la réalisation des lyses sur les différents niveaux de la façade du système analysé par Bernard Duprat et Michel Paulin [DUPRAT PAULIN,1995].



Grâce à la théorie de l'information, la notion de système morphotique est objectivée. La formalisation du système d'information permet d' « abandonner l'idée que sa production relève d'un art prophétique qui échapperait à la mesure et à la connaissance scientifique » [BEN SACI, 2000, p.348].

MORPHOLOGIE ANALYTIQUE

Dans un premier temps, la question de la structure morphologique est abordée. Il s'agit du dispositif spatial d'une collection, d'un ensemble de formes. La structure morphologique présente les caractéristiques suivantes :

- elle est constituée d'éléments géométriques élémentaires dont la composition produit des formes diverses
- elle est le principe d'organisation d'un ensemble de formes, opératoire et économe
- elle est formalisable par la théorie des graphes
- elle est représentative du système de production (schème) des formes analysées
- elle est un outil de modélisation morphologique du système morphotique d'un espace de formes donné

Selon A. Ben Saci « le postulat méthodologique de l'analyse morphologique est l'organicité apparente des formes spatiales et l'analycité de l'espace de formes » [2000, p.355]. L'analyse morphologique se base sur l'organicité, propriété structurelle de l'espace de formes.

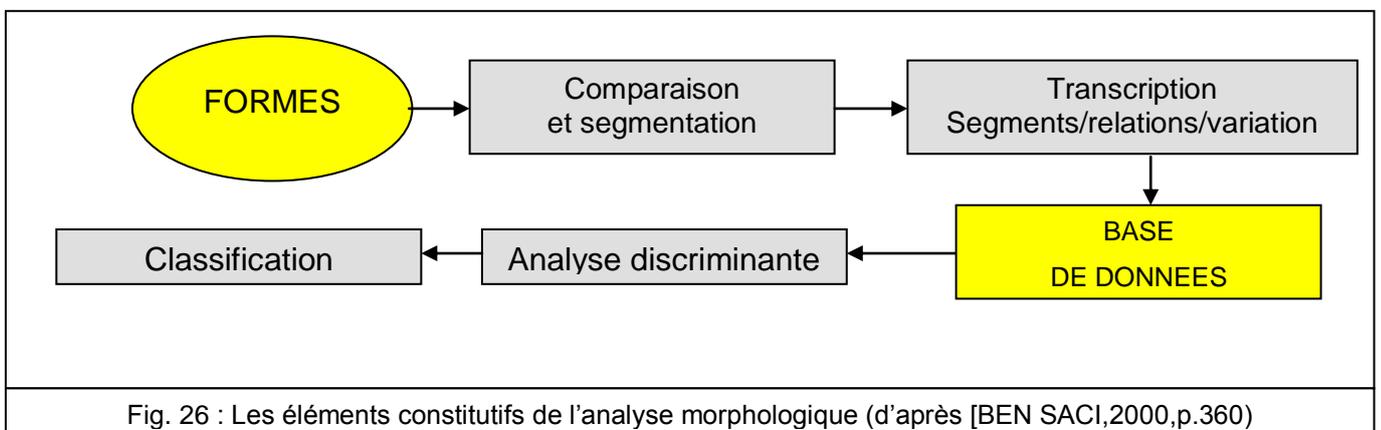
Et c'est l'homologie entre les parties constitutives des formes qui rend opératoire leur analyse structurelle et les rend comparables entre elles.

L'analyse morphologique a pour objet « la caractérisation et la discrimination morphologique par décomposition et comparaison systématiques des formes. Elle utilise l'analyse structurelle pour localiser une invariance sous-jacente à la diversité empirique du corpus. L'invariance institue entre les formes un tissu d'éléments et de relations logiques [...] et révèle ainsi leur structure constitutive » [BEN SACI 2000,p.357].

L'analyse morphologique décrit l'unité à travers la multiplicité observée dans la collection de formes. La structure morphologique élaborée à partir de cette analyse résume cette unité par la mise en relation des éléments constitutifs les formes analysées. « La mise en évidence de la structure morphologique passe par la déconstruction des formes spatiales en composant homologues » [BEN SACI 2000,p.357]. Elle repère ces composants homologues par l'analyse des discontinuités (lyses) et par une description comparative des parties qui en résultent. « Les formes spatiales sont décrites en termes de combinaisons structurées de formes élémentaires dont les règles de concaténation définissent la structure morphologique du corpus » [BEN SACI 2000,p.359].

L'analyse morphologique se décompose de la manière suivante :

1. Découpage des formes en éléments constitutifs, afin de faciliter la description
2. Transcription des relations dispositionnelles des éléments constitutifs des formes spatiales
3. Caractérisation des variations de configuration ou de dimension de ces éléments
4. Recherche de correspondances logiques entre les positions, les dimensions



L'analyse morphologique est ensuite soutenue par les outils suivants:

Un ensemble d'outils d'analyse de données : codification, analyse multidimensionnelle, classification

Des instruments de statistique traditionnelle : histogramme, corrélation, moyenne et écart type

Des moyens d'expertise automatique (système Systex)

Ces outils supposent la validation ou la réfutation d'une structure morphologique sur des critères logiques et objectifs (mesure de la ressemblance, proximité dans un nuage de points). Ce sont des outils d'objectivation et d'aide de l'élaboration de la structure morphologique.

Il existe donc un ensemble d'« outils d'objectivation et d'aides de l'élaboration morphologique ». La méthodologie de l'analyse morphologique a été expérimentée par les travaux du laboratoire d'analyse de formes de Lyon qui ont permis de la valider. Cependant, l'analyse morphologique possède des limites méthodologiques, inconsistance, instabilité fragilité, discontinuité. La dernière partie du travail d'A. Ben Saci, sur laquelle je développe mon travail, a pour but de dépasser les limites de l'analyse morphologique grâce à de nouveaux outils de reconnaissance et de caractérisation des formes.

FONDEMENTS DE LA MESURE DE LA FORME

Dans cette partie A. Ben Saci précise quelques notions essentielles en préalable à sa proposition de mesure de la forme

Espace

Le terme espace est polysémique, sa signification est variable suivant le contexte d'utilisation. La signification de l'espace telle qu'elle est admise dans le travail d'A Ben Saci désigne « un domaine physique E sans configuration préalable, mais formalisable par une topologie ». L'espace est alors un ensemble de points défini par un domaine physique donné » [BEN SACI 2000,p.375].

Forme Spatiale

Le terme forme spatiale prend toute sa justification dans l'affirmation la forme est une partie de l'espace. La morphométrie se base sur une approche topologie des formes spatiales. La limite, corollaire de la forme spatiale,

permet de distinguer la notion de forme de la notion d'espace et positionne cette notion dans une conception ensembliste. Cette situation permet l'application des opérations booléennes sur les formes spatiales.

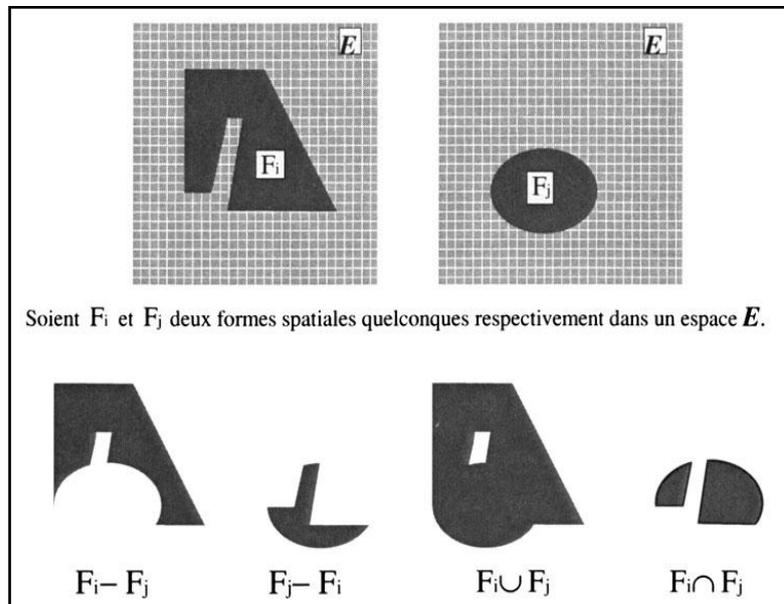


Fig. 27 : Illustration d'opérations booléennes sur les formes spatiales. L'intersection de deux formes spatiales différentes et sécantes (non disjointes) n'est pas obligatoirement une seule forme spatiale. (d'après [BEN SACI 2000,p. 378])

La forme spatiale possède trois niveaux de caractérisation : topologique, configurationnelle et dimensionnelle. Le degré de détermination de ces trois caractérisations précise le degré de définition de la forme :

- si les trois caractérisations sont fixées, la forme est hypermorph, son degré de liberté est nul
- si les caractérisations topologiques et configurationnelles sont fixées, seule la variation dimensionnelle s'avère possible, la forme est isomorphe.
- Enfin si aucune de ces trois caractérisations n'est précisée alors la forme est dite amorphe.

Espace de formes

Toute forme spatiale est incluse dans un espace de formes. Toute forme (ensemble occupant une portion fermée de l'espace, configurant et

dimensionnant le corps spatial) en est une partie intégrante [BEN SACI 2000,p.381].

Les relations suivantes sont établies :

$$\begin{aligned} E_1 &= \{ F_{i, i \in N} \} \\ E_2 &= E - E_1 \\ E_f &= \{ E, E_1, E_2, \emptyset \} \\ E_1 \cup E_2 &= E \text{ et } E_1 \cap E_2 = \emptyset \end{aligned}$$

E_1 est un ensemble de formes spatiales $F_{i, i \in N}$ de E

E_2 est l'ensemble résultant de la soustraction de l'ensemble de ces formes spatiales de l'espace E

E_f est l'espace de formes résultant de la partition de l'espace E en un ensemble de forme E_1 de sous-ensembles fermés bornés $F_{i, i \in N}$ et en un ensemble E_2 ouvert de E .

Dans sa démonstration A. Ben Saci relève d'autres propriétés à l'espace de formes :

- Il ne génère un espace de formes que lorsqu'il contient au moins une forme et par conséquent l'existence d'une forme implique l'émergence d'un espace de formes (p.382)
- La propriété topologique de l'espace de formes détermine ce qui relève dans cet espace du statut de forme spatiale (p.383)
- les partitions régulières de l'espace obéissent à des contraintes spatiales et sont formalisables par des lois mathématiques (p.385)

Structure Booléenne

Une forme spatiale, construction ensembliste, peut être décomposée en formes élémentaires par le biais de la décomposition booléenne qui se représente sous forme de d'arborescence. Cependant la limite de ce type de raisonnement est évidente : ce type de décomposition n'est pas univoque.

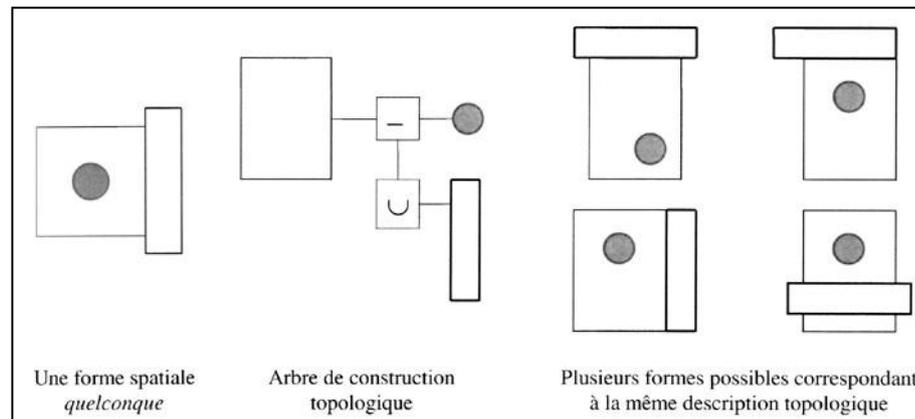


Fig 28 : Forme spatiale et arbre de construction ensembliste associé. Plusieurs combinaisons spatiales sont possibles pour le même arbre de construction. La définition topologique des formes spatiales est insuffisante à les caractériser. (d'après [BEN SACI 2000,p. 386 et 387])

Morphométrie

L'argumentation développée par A. Ben Saci autour de la forme abouti la nécessité de développer un ensemble de nouveaux outils en adéquation avec la mesure de formes spatiales : La morphométrie. Celle-ci « désigne [...] l'opération de projection de la forme spatiale dans un espace homogène et isotropique qu'on choisit ici de nature quantitative (espace vectoriel). Cette projection met en œuvre des formules mathématiques rigoureuses » [BEN SACI 2000, p.388].

L'outil mathématique permet l'éloignement de la mesure de la forme du domaine sensible pour le transposer dans un espace propre de mesure, apte à la stabilité de la description et à la comparaison de formes. La morphométrie permet de révéler les apports de la représentation mathématique sur l'information de la forme spatiale ainsi que le dépassement du niveau de perception directe.

La description mathématique se montre utile à l'étude des formes nécessaire au diagnostic de ses propriétés. De plus « la morphométrie contribue à l'édification d'une théorie générale de la forme spatiale et donc à la modélisation du système morphotique » [BEN SACI 2000,p.389]. L'abstraction mathématique de la forme spatiale génère une représentation qui sera le support de mesure de l'opérateur morphique. L'objectif d'A. Ben Saci est la conception et le développement des outils de mesure de la forme

et la concrétisation de cette démarche se trouve dans le logiciel Morgex (MORphométrie GEnéralisée). Cet outil est ensuite expérimenté sur diverses collections de formes spatiales⁴. La composante expérimentale de mon travail place très précisément comme un nouveau champ d'application de l'outil développé par A. Ben Saci.

5. Modèle de mesure de la forme comme instrument de modélisation du système de production de formes.

Il s'agit ici de la dernière partie du travail d'A. Ben Saci. Celle-ci introduit dans un premier temps les outils d'analyses puis dans un second temps présente leurs applications sur différents exemples, s'en suit une analyse des résultats obtenus et leur interprétation. L'ensemble permet de conclure sur la démarche réalisée.

Les opérateurs de mesure

1. Composante Spatiale Élémentaire

Notée COSPEL, elle correspond « au minimum tangible du domaine spatial » [BEN SACI 2000, p.394], c'est une définition qui rejoint la notion de point.

2. Position Spatiale

Ce sont les repères associés qui fournissent la dimension à l'espace vu comme ensemble topologique. Les COSPEL se positionnent par rapport à ce repère de référence, ce qui permet de les différencier et de les identifier. « La notion de forme spatiale désigne donc un ensemble constitué de COSPEL connexe et différenciées. Elle est un bloc spécifique de COSPEL » [BEN SACI 2000, p.397].

3. Codification Numérique

La codification numérique, premier stade de la morphométrie, est le résultat de la représentation mathématique de la forme, elle caractérise les COSPEL de manière quantitative et systématique. C'est sur cette représentation que se portent les opérations de mesure de la forme

⁴ L'application a notamment été testée sur les collections de formes suivantes : architecture vernaculaire mozabite, architecture rurale française, architecture byzantine de Syrie du Nord.

spatiale. La fonction de Dirac, permet la codification numérique (binaire) de la forme spatiale et traduit les opérations booléennes en opération algébriques.

$$f(\mathcal{C}_\rho) = \delta(\mathcal{C}_\rho) = \begin{cases} 1 & \text{si } \mathcal{C}_\rho \in F \\ 0 & \text{si } \mathcal{C}_\rho \notin F \end{cases}$$

$$\begin{aligned} F_i \cup F_j &\Leftrightarrow f_i + f_j - f_i f_j \\ F_i \cap F_j &\Leftrightarrow f_i f_j \\ F_i - F_j &\Leftrightarrow f_i - f_i f_j \\ F_j - F_i &\Leftrightarrow f_j - f_j f_i \end{aligned}$$

Fig. 29 : formule de Dirac, où \mathcal{C}_ρ est un Cospel et F la forme et formalisation des opérations booléennes entre deux formes F_i et F_j sous forme algébrique.
(d'après [BEN SACI 2000,p. 399])

D'autres opérations sont envisageables, notamment la pondération de la quantification de l'information morphique par la distance de chaque Cospel au barycentre. La représentation peut également se faire de manière statistique.

4. Représentation Matricielle

Les Cospels peuvent être représentées dans une matrice dont la taille est fonction du cardinal de l'espace considéré. La matrice retenue est à deux dimensions afin de faciliter le traitement des informations.

5. Fonction de Carré Sommable

La fonction mathématique appliquée au Cospel est positive à support borné. Il s'agit d'une représentation de carré sommable ; les propriétés de la fonction définie sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \sum_0^{q-1} |f(\mathcal{C}_\rho)|^2 &< +\infty \\ \forall f \text{ et } \forall g \in L_2 & \quad f + g \in L_2 \\ \langle f | f \rangle &= \sum_0^{q-1} |f(\mathcal{C}_\rho)|^2 \\ \|f\| &= \sqrt{\langle f | f \rangle} = \left[\sum_0^{q-1} |f(\mathcal{C}_\rho)|^2 \right]^{1/2} \\ \|f\| &= 0 \text{ si, et seulement si, la fonction } f \text{ est nulle partout} \\ \|\lambda \cdot f\| &= |\lambda| \cdot \|f\| \quad \lambda \text{ est un scalaire quelconque} \\ \|f + g\| &\leq \|f\| + \|g\| \end{aligned}$$

Fig. 30 : Propriétés des fonctions de carré sommable.
(d'après [BEN SACI 2000,p. 402])

La fonction est assimilable à un signal d'énergie totale finie. «l'énergie totale de la forme est la somme de chacune de ses composantes spatiales élémentaires » [BEN SACI 2000, p.403].

Le passage d'une représentation spatiale de la forme à une représentation fréquentielle de la forme est possible grâce à sa représentation mathématique par une fonction de carré sommable.

6. Représentation fréquentielle

La transformation de Fourier discrète, bijective et réversible, permet de jouer avec la dualité entre le domaine spatial et le domaine fréquentiel. Le passage d'une représentation numérique spatiale à une représentation numérique fréquentielle permet de conserver l'intégralité de l'information (bijection, réversibilité et conservation d'énergie) et autorise l'étude d'une représentation spatiale dans un autre domaine, fréquentiel. Ce nouveau domaine supporte des possibilités d'analyse différentes ou facilite les analyses qui n'étaient pas forcément aisées à réaliser dans le domaine spatial.

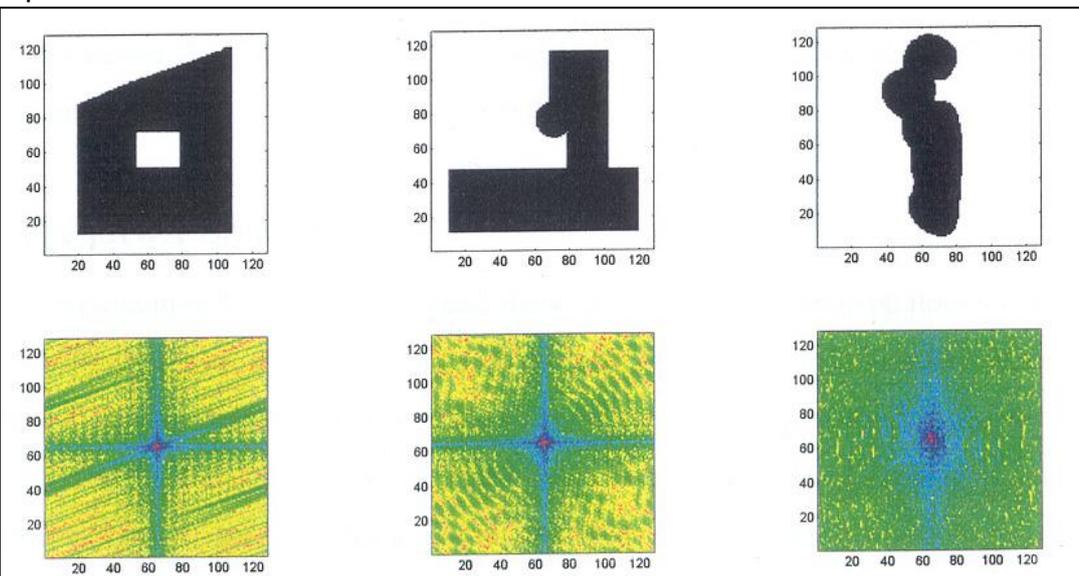


Fig. 31 : Représentations spatiale (haut) et fréquentielle (bas) de l'information morphique. L'information contenue dans la représentation numérique f de la forme peut être représentée également dans le domaine fréquentiel via la transformation de Fourier discrète.(d'après [BEN SACI 2000,p. 405])

7. Fréquence spatiale

La fréquence spatiale U conditionne la représentation fréquentielle. Sa dimension (fréquence) est fonction de la position des Cospel (l'inverse de leur mesure μ). Le théorème de Shannon permet d'établir la bonne cadence d'échantillonnage (U_e) : , au moins le double de la valeur de la fréquence maximale (U_{MAX}), ainsi que la détermination d'un intervalle borné suffisant à reconstituer la forme initiale.

8. Transformée de Fourier

« La transformation de Fourier est une décomposition de la représentation numérique de l'information morphique par des fonctions orthogonales. Elle est définie, sur le domaine discret de la matrice E , par une somme d'oscillations harmoniques de l'information morphique en fonction de la fréquence. . La transformation de Fourier utilise la base fonctionnelle orthonormée $e^{-2j\pi U\rho}$ comme support de décomposition de l'information spatiale en information fréquentielle. [...] Les grandeurs donnant la représentation fréquentielle de la forme sont dites transformées de Fourier. Elles constituent le spectre de la représentation spatiale de la forme » [BEN SACI 2000, p.408].

Propriétés	Fonction f	Transformée de Fourier \hat{f}	Observation
Linéarité	$\alpha \cdot f_i + \beta \cdot f_j$	$\alpha \cdot \hat{f}_i + \beta \cdot \hat{f}_j$	$(\alpha, \beta) \in \mathfrak{R}^2$
Translation	$f(\mathcal{C}_{\rho+t})$	$\hat{f}(U) \cdot e^{2j\pi U t}$	$\ e^{2j\pi U t}\ = 1$
Changement d'échelle	$f(\mathcal{C}_{k,\rho})$	$(1/k_x \cdot k_y) \cdot \hat{f}(\frac{u}{k_x}, \frac{v}{k_y})$	$k_x \neq 0$ et $k_y \neq 0$
Rotation	$f(\mathcal{C}_{\Omega(\rho)})$	$\hat{f}(\Omega(U))$	
Convolution	$f_i * f_j$	$\hat{f}_i \cdot \hat{f}_j$	
Multiplication	$f_i \cdot f_j$	$\hat{f}_i * \hat{f}_j$	

Tableau récapitulatif des principales propriétés remarquables de la transformation de Fourier. Ω , t , k , et $*$ sont respectivement une fonction de rotation, un vecteur quelconque de translation, un facteur d'échelle et le symbole du produit de convolution¹⁴.

Fig. 32 : Propriétés de la transformation de Fourier. (d'après [BEN SACI 2000,p. 411])

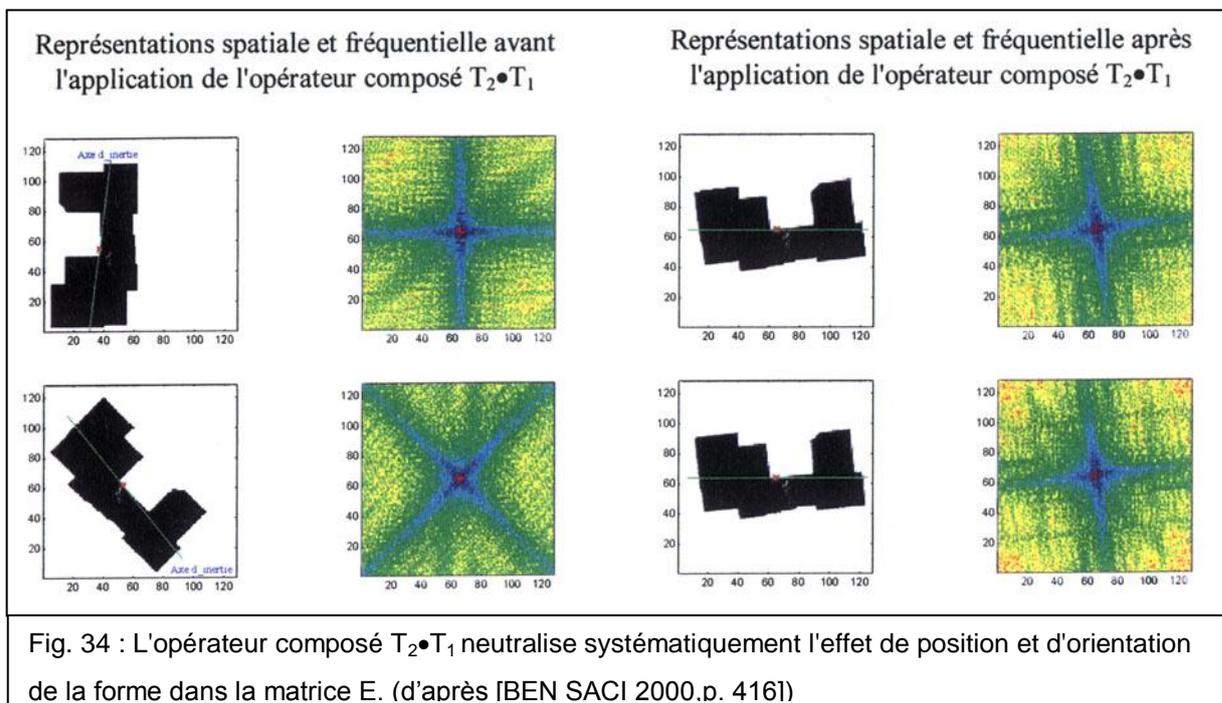
A. Ben Saci fait ensuite une description complète des caractéristiques de la transformée de Fourier, ma démarche s'intéresse plus à l'application

pratique de cette transformation, c'est pourquoi je vais m'attacher ici à ses propriétés remarquables, sans les démontrer⁵.

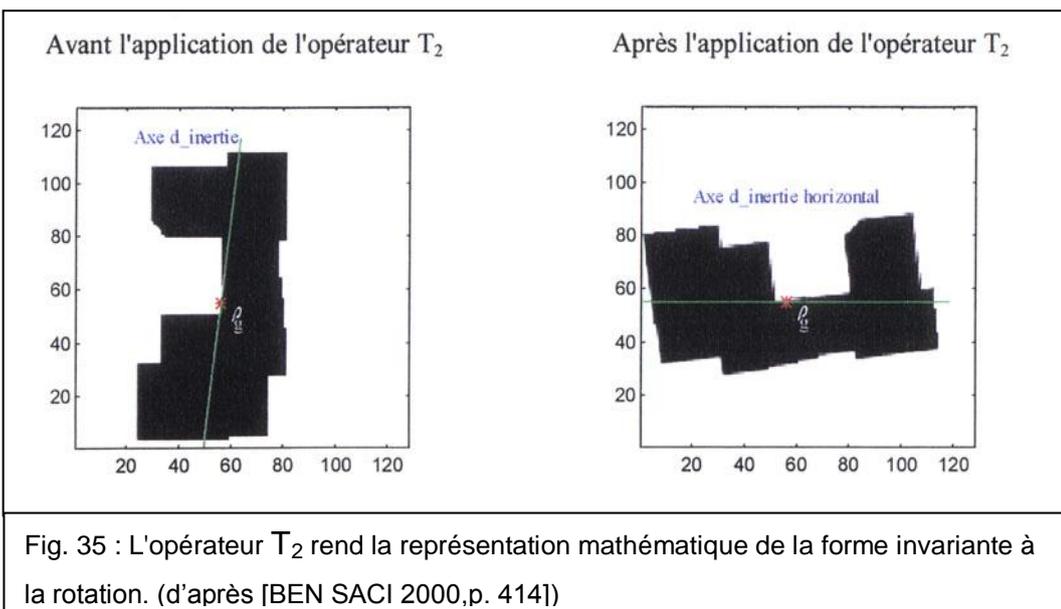
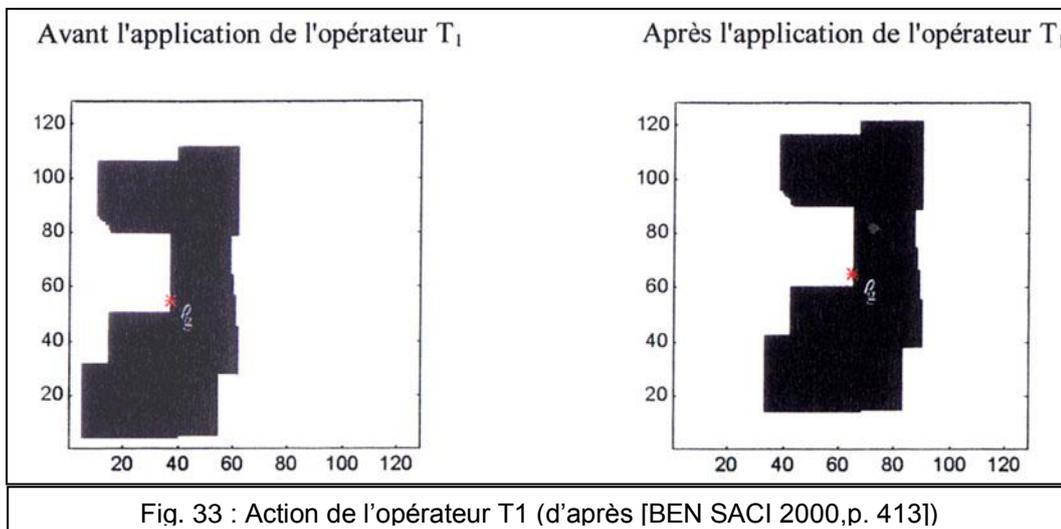
Les interventions opérées dans le domaines spatial ont leurs réciproques dans le domaine fréquentiel et vice versa. La transformation de Fourier rend la représentation fréquentielle opératoire et significative.

9. Invariance au déplacement

La définition et l'application d'opérateurs rendent la représentation mathématique invariante à la translation, à la rotation et au déplacement. Ces opérateurs (T_1 pour la translation, T_2 pour la rotation et le composé $T_2 \cdot T_1$ pour le déplacement) considèrent le barycentre de la forme comme position de référence pour leur application. Les figures 33 à 35 sont révélatrices de l'action de ces opérateurs sur la forme et permettent de saisir l'intérêt de leur application.



⁵ La littérature spécialisée apporte les précisions relatives à ces propriétés : [RODDIER, 1991], [COULAN, 1990], [KUNT, 1981], [SCHWARTZ, 1965]



10. Parité de la forme

Une forme peut être composée de la somme de fonctions paire (p) et impaire (q , résultant de la soustraction de la somme paire à la forme initiale F).

La « composante paire désigne la plus grande forme symétrique incluse » dans la forme F . Tandis que la composante impaire « contient tous les Cospel dont l'information morphique n'est pas symétrique par rapport au barycentre de la forme F . » [BEN SACI 2000].

La décomposition de la forme par les fonctions paires et impaires, opération linéaire, unique et réversible, permet la reproduction systématique des formes et leur segmentation. Le rapport du nombre de Cospel de la partie paire sur le nombre total de Cospel permet d'avoir une indication du taux de symétrie de la forme. « Il soustrait la forme à la lecture géométrique immédiate et rend comparable toutes les formes » [BEN SACI, 2000].

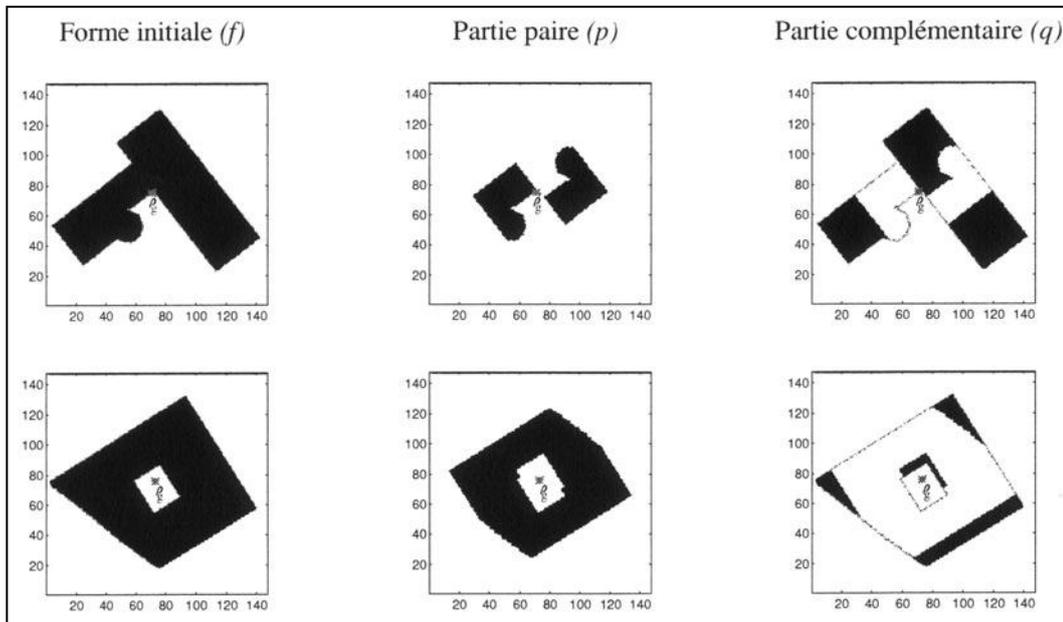


Fig. 36 : La parité permet de décomposer toute forme spatiale décrite par une fonction f en deux parties distinctes et complémentaires. La partie paire présente une symétrie par rapport au barycentre et la seconde partie correspond à son complément. La parité consiste à isoler les informations morphiques symétriques et à en constituer une entité. La partie q est le complément nécessaire de cette entité pour pouvoir reconstruire la forme initiale. (d'après [BEN SACI 2000,p. 417])

Les opérateurs de mesure ainsi définis permettent la description mathématique de la forme spatiale. Celle-ci « mènera l'étude des formes spatiales à un niveau d'abstraction fondamentale » [BEN SACI,2000, p.421]. Il s'agit d'une étape déterminante dans le positionnement de la morphologie comme science des formes et science de l'architecture.

Analyse Fréquentielle

L'objectif de l'analyse fréquentielle est la décomposition de la forme en strates morphiques, équivalent dans le domaine spatial des fréquences énergétiques. Elle permet à l'observation de s'affranchir des contraintes liées à l'analyse du domaine spatial (perception, subjectivité) pour étudier l'ordre interne de la forme.

L'information du domaine spatial, traitée par la transformation de Fourier inverse, est décomposée fréquence par fréquence, c'est la décomposition fréquentielle de la forme. La segmentation de la forme spatiale par décomposition fréquentielle se rapporte uniquement à la fréquence, au contraire des segmentations par lyse et par parité. Il s'agit d'un nouveau

protocole d'analyse qui permet d'obtenir des informations sur la forme spatiale de manière objective, systématique et opératoire.

Il y a une équivalence entre la somme des énergies de l'ensemble des couches constitutives de la forme et l'énergie totale de la forme. « La décomposition de la forme en strates correspond donc à la fois à une décomposition énergétique et à une décomposition fréquentielle de la forme spatiale » [BEN SACI, 2000, p.426]. Le rapport de l'énergie d'une strate morphique sur l'énergie totale de la forme (coefficient de variation d'énergie) renseigne sur le taux de répartition du codage de l'information morphique.

La distinction réalisée entre les basses et les hautes fréquences dans le domaine de la représentation spectrale se justifie par la différence de l'information portée par ces fréquences : « les strates fondamentales correspondent aux basses fréquences et les strates complémentaires correspondent aux hautes fréquences » [BEN SACI, 2000, p.429]. La forme sera étudiée selon une décomposition hiérarchique et successive de l'information morphique sur un axe d'étalonnage. Cet étalonnage autorise l'identification de la forme selon un ordre de fréquence et explicite la décomposition systématique de la forme en une succession de couches morphiques.

Dans un premier temps, l'étude des strates morphiques se porte uniquement aux fréquences porteuses d'information, pour obtenir une segmentation en bandes fréquentielles, équivalent fréquentiel de la notion de strates morphiques. On parle ici de la notion d'étalonnage de l'information morphique.

La représentation fréquentielle est ensuite filtrée par une fonction, dite de transfert, afin d'en autoriser l'extraction d'une strate morphique particulière correspondant à des fréquences particulières parmi la totalité de l'information morphique. « Il est possible de produire les différentes strates de la forme soit à partir d'un filtrage par multiplication dans le domaine de la représentation fréquentielle, soit à partir d'un filtrage par convolution dans le domaine de la représentation spatiale » [BEN SACI, 2000, p.436].

La segmentation fréquentielle de la forme se réalise par l'étude des représentations successives de strates morphiques en fonction de l'évolution des

rayons de la bande fréquentielle. Cette évolution progressive, associée à l'application de la transformation de Fourier, permet l'obtention de strates morphiques qui à chaque fois contiennent l'information des strates morphiques qui les précèdent sur la bande fréquentielle. Il est possible d'obtenir un coefficient de variation d'énergie (V_B) dont la représentation révèle de façon très nette l'importance des basses fréquences dans l'enregistrement de l'information morphique. La figure 37 composée d'après des analyses portées sur l'évolution du rayon de la bande fréquentielle est révélatrice de cet état de faits. L'analyse expérimentale menée par A. Ben Saci montrent l'appartenance des bandes fréquentielles du rayon inférieur ou égal à $4 \Delta U$ au champ de définition topologique de la forme spatiale. Les bandes fréquentielles comprises entre 4 et $7 \Delta U$ marquent un champ de transition, tandis que le champ morphique allant au-delà de $8 \Delta U$ correspond à une définition de la configuration. Les bandes fréquentielles allant au-delà de $12\Delta U$ sont négligeables dans la détermination de la forme spatiale. Les définitions topologiques et compositionnelles sont donc liées au domaine fréquentiel. « Il existe donc deux niveaux intrinsèques et successifs de la concrétisation de la forme. Ces niveaux permettent deux points de vue distincts sur la forme spatiale.

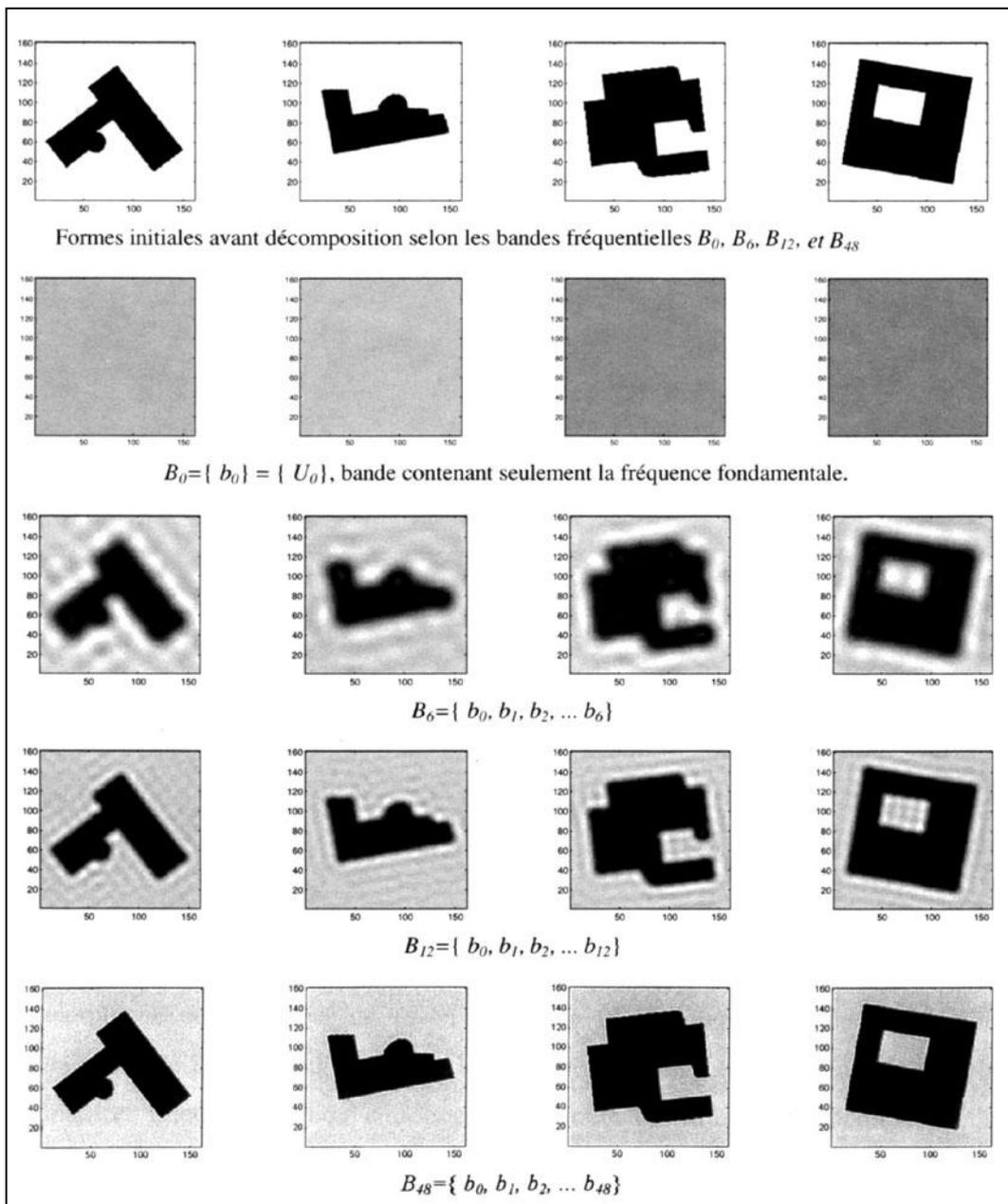


Fig. 37 : Couches morphiques par bandes fréquentielles élémentaires cumulatives. Elles montrent la progression de la répartition spatiale de l'information morphique en fonction du rayon de la bande fréquentielle donc du coefficient de variation de l'énergie V_B . (d'après [BEN SACI 2000,p. 438])

Deux autres notions doivent encore être précisées ici : le rayon utile R_u du spectre et l'indice de strate. Le rayon utile du spectre correspond à un degré de définition « suffisant » de la forme. La formule la plus opératoire est la racine carré du calcul de l'écart quadratique moyen à la fréquence fondamentale (U_0). L'indice de strate, déterminé essentiellement en fonction du choix d'un nombre c lui même relatif au rapport du rayon maximal sur le rayon utile d'une bande fréquentielle, permet de comparer les formes selon « des niveaux précis et distincts d'information » [BEN SACI, 2000, p.444].

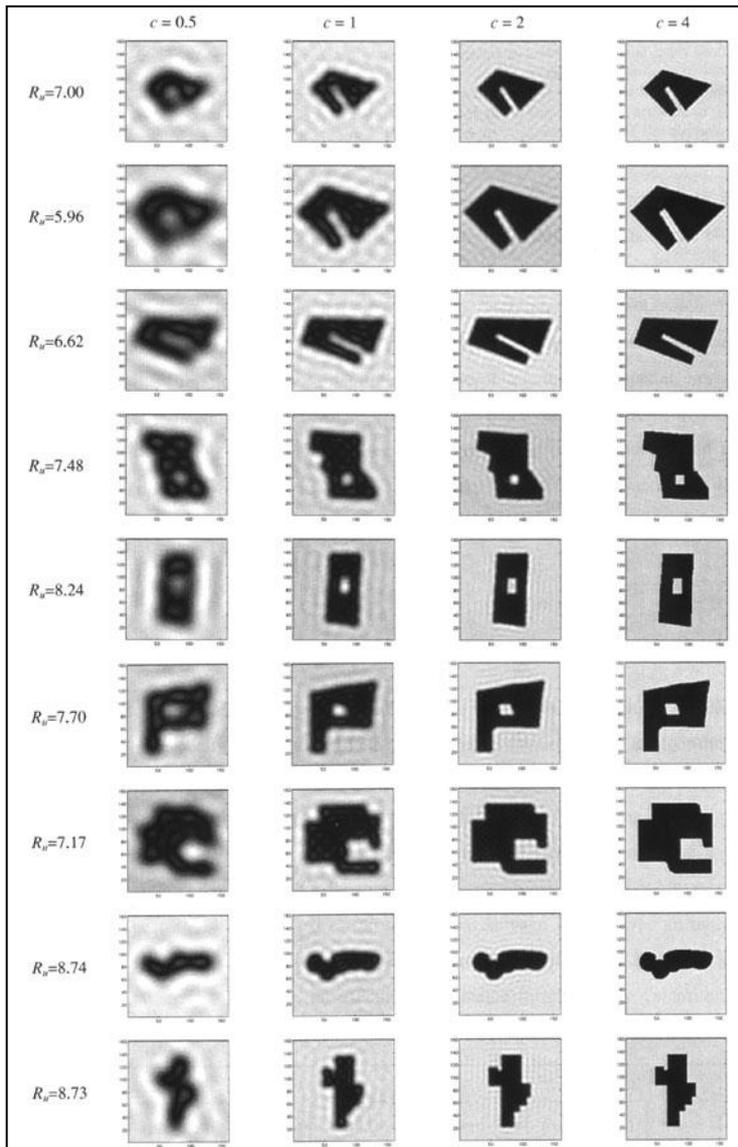


Fig. 38 : On a calculé d'une façon systématique pour les valeurs expérimentales de l'indice $c=0.5, 1, 2, 4$ la strate morphique correspondant à la fonction f_B . On remarque :

- 1) Bien que les formes n'aient pas le même rayon utile du spectre, ont la même structure morphique selon l'indice c . Ce dernier servira comme base d'échantillonnage de la forme en informations morphiques topologique et configurationnelle.
- 2) La distribution de l'énergie de la forme donc de l'information morphique en fonction de la fréquence n'informe pas sur la variation de la taille de la forme (cas des trois premières formes). Il faut distinguer cette variation de celle de d'échelle que la représentation fréquentielle enregistre. (d'après [BEN SACI 2000,p. 446])

Dans le cadre de sa recherche, A. Ben Saci réalise un algorithme de calcul de strate morphique correspondant à un indice c . C'est bien l'application de cet algorithme qui concerne directement ma démarche. Car c'est l'élément qui permet l'analyse du corpus de formes urbaines que je vais déterminer plus loin. Cet algorithme permet le calcul automatique du filtrage ainsi que le calcul du rayon utile du spectre de la forme, définis plus haut. Il est programmé sous Matlab®.

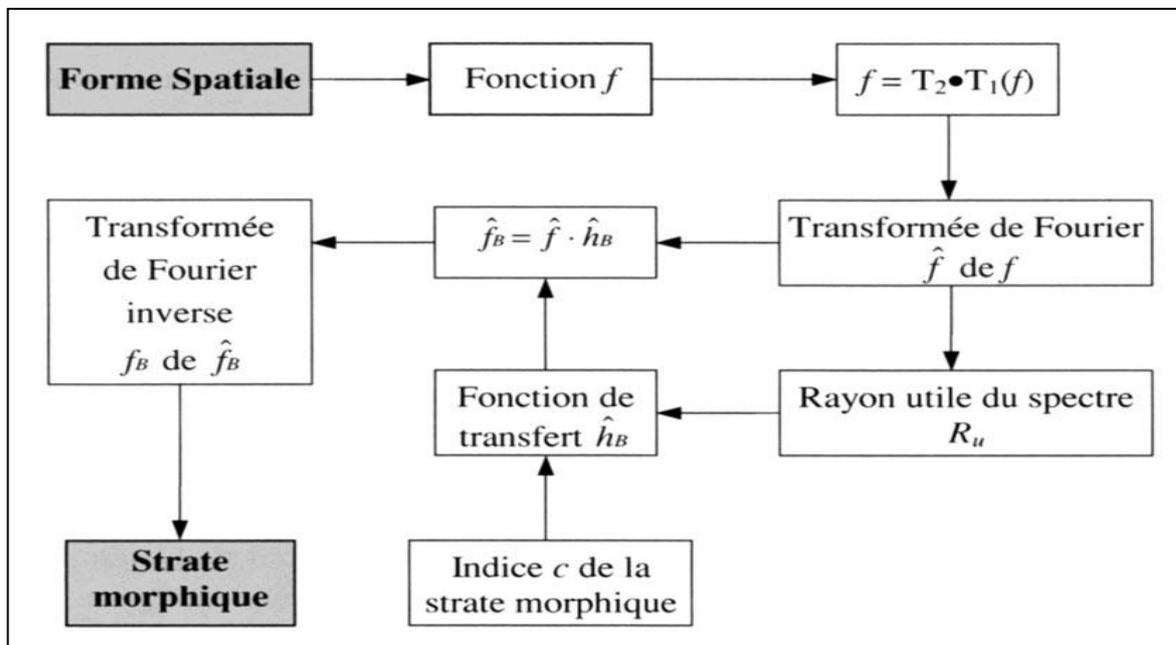


FIG. 39 : Cet algorithme de calcul d'une strate morphique met en oeuvre l'opérateur fonctionnel du filtrage de la représentation fréquentielle. Le domaine de définition de la fonction de transfert est donné par le calcul du rayon utile du spectre de la forme et l'attribution d'une valeur à l'indice c . Cet indice est propre à chaque couche de la forme et par conséquent le choix d'une strate morphique est entièrement déterminé par la valeur de cet indice. Celle-ci est comprise strictement entre zéros et le rapport R_{\max} sur R_u . Une strate morphique décrit une dérivation de la forme propre à cet indice. L'intervalle $]0, 2]$ offre un domaine suffisant pour l'étude, la comparaison et l'identification des formes spatiales. (d'après [BEN SACI 2000, p. 447])

La forme, composée dans le domaine spatial de strates morphiques, est donc décomposée en bandes fréquentielles successives centrées sur la fréquence spatiale par l'analyse fréquentielle. Celle-ci réalise une dissection de la forme pour en révéler sa structure morphique, informer sur sa constitution et mettre en évidence ses propriétés fondamentales. Ces propriétés elles-mêmes peuvent être étudiées en fonction de l'indice propre à chaque strate morphique. L'analyse fréquentielle permet de mettre en évidence les propriétés intrinsèques de la forme spatiale et d'élaborer la structure morphique, porteuse d'information, opérations qui n'étaient pas réalisables directement sur la forme : le passage d'une représentation spatiale à une représentation fréquentielle autorise donc de nouvelles opérations et apporte de nouvelles informations.

Descriptions et identification des Formes

1. Description énergétique

La description énergétique telle qu'elle est appliquée dans cette partie du travail d'A. Ben Saci sera appliquée au corpus de formes urbaines, c'est pourquoi la partie expérimentale sera détaillée plus en avant. « Le descripteur énergétique mesure l'apport énergétique des bandes fréquentielles élémentaires b_r en fonction du rayon r (distance à la fréquence fondamentale). Il caractérise la distribution de l'énergie totale de la forme dans le domaine spatial selon des strates morphiques successives significatives [...] Il informe sur l'apport d'information de chaque couche morphique élémentaire. La combinaison de ses différentes grandeurs discrimine les formes spatiales selon l'ordre topologique et configurationnel de l'axe d'étalonnage de l'information morphique » [BEN SACI, 2000, p.450]. Exemple d'application : description énergétique d'une collection de façades de l'architecture byzantine de l'habitat rural d'une région du massif calcaire de Haute Syrie : le gebel Zawiye aux V^e et VI^e siècles.

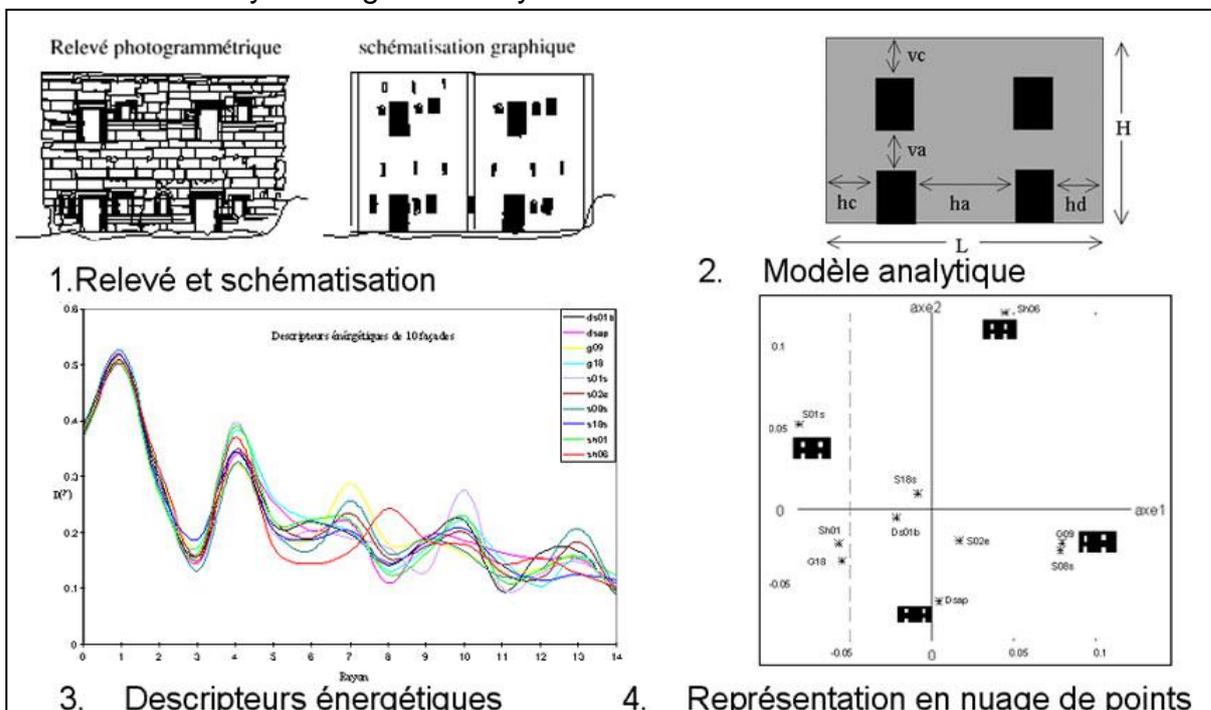


Fig. 40 : 1. Une schématisation des façades (Maison 08, Sergilla [Duvette, 1999]) relevées par photogrammétrie, abouti a une description morphologique des façades considérées (2. exemple du modèle analytique [Duvette, 1999]). Ce modèle est l'aboutissement d'une série de tentatives de caractérisations discriminantes de ces façades par l'étude de certaines mensurations et de leurs rapports. 3. Les descripteurs énergétiques obtenus à partir d'une sous collection de façades de l'architecture domestique byzantine. Ces façades sont identiques dans le domaine topologique et se discriminent par leurs déterminations configurationnelles. 4. Au final, représentation du nuage de points selon les axes factoriels 1 et 2 conservant respectivement 37.36% et 31.32% des mesures de dispersion des points. (d'après [BEN SACI 2000,p. 452 à 454])

Le description énergétique présente deux lacunes principales, elle est irréversible (le descripteur énergétique ne permet pas la reconstitution de la forme) et la structure morphique descriptible par l'analyse fréquentielle n'informe pas sur la structure morphologique (disposition spatiale et variation des formes élémentaires). A Ben Saci propose donc de combiner l'analyse fréquentielle à l'analyse morphologique dans le but d'en tirer leurs avantages respectifs : il s'agit de combiner la décomposition morpho-fréquentielle à la segmentation morphologique.

Cette recherche va au-delà du propos de ce travail, c'est pourquoi il n'en sera fait ici qu'une description très sommaire.

La description morpho-fréquentielle consiste à « segmenter la forme en deux parties fondamentales respectivement paire et impaire, à calculer la représentation fréquentielle de chacune de ces deux formes, à choisir la fréquence de coupure de la strate morphique et à filtrer les deux représentations » [BEN SACI, 2000, p.461].

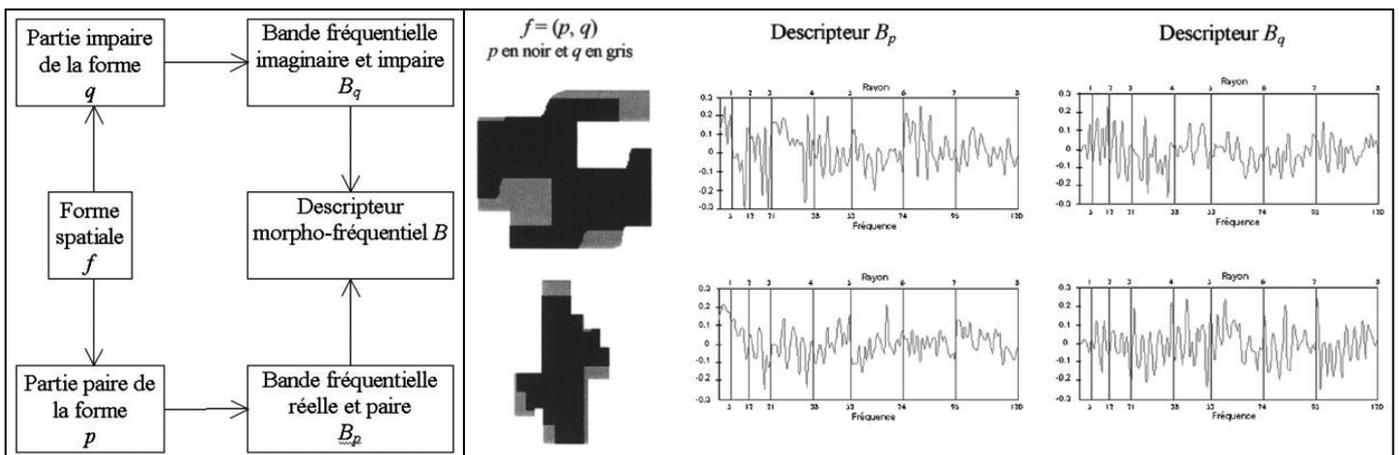


Fig. 41 : Principe général de la description morpho-fréquentielle (à gauche).

La description morpho-fréquentielle permet une comparaison systématique de la structure morphologique selon l'ordre de la structure morphique. Celle-ci décrit la détermination topologique et configurationnelle de la forme. La représentation mono dimensionnelle des descripteurs morpho-fréquentiels (B_p et B_q) permet la comparaison des parties homologues entre elles (homologie morphologique et morphique). Il est possible de munir l'espace de formes d'une métrique et d'automatiser la classification des formes. (d'après [BEN SACI 2000, p. 462 & 463])

3. Identification

La description morpho-fréquentielle se donne d'autres objectif : la comparaison systématique et la classification automatique des formes sur la

base d'une description quantitative des formes. La comparaison des descripteurs au travers de graphes d'interrelations permet leur classement. Ces graphes par leurs propriétés permettent de formuler des hypothèse de reconstitution de formes. La figure suivante montre une façade restituée par convergence systématique de ses descripteurs vers les classes préexistantes.

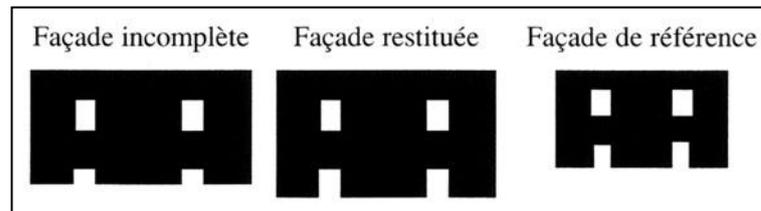


Fig. 42 : Le résultat de cette restitution fondée seulement sur la comparaison des descripteurs énergétiques est plausible. En effet, la hauteur des portes de la façade restituée converge aussi vers la hauteur moyenne de 1.90m des portes des façades complètes.
(d'après [BEN SACI 2000,p. 468])

Prééminence de l'espace de formes et unité de voisinage

L'étude des ensembles liés à l'espace de forme et ses corollaires amène à distinguer les notions suivantes :

- l'espace de forme E_f , ensemble des déterminations topologiques et configurationnelles réalisées dans l'espace concret
- l'espace morphique E_m ensemble contenant E_f ainsi que toutes les formes potentielles de cet espace
- l'ensemble de définition E_d , formes concrètes de l'espace
- l'ensemble image E_i , formes concrètes de l'espace de forme et formes possibles non réalisées, elles sont projectibles

Un graphe de formes est défini sur le produit cartésien $E_d \times E_i$. La prééminence de l'ensemble de définition permet d'affirmer la définition d'un graphe de formes au moins par rapport à une forme de référence.

Ce graphe lie les formes spatiales par unités de voisinage. Il est possible d'établir des corrélations entre les descripteurs énergétiques. Ces relations d'équivalence divise l'espace morphique en sous-ensembles de formes. Le degré de voisinage des formes spatiales, défini par un coefficient de correspondance, permet d'établir des unités de voisinage. Son barycentre

caractérise une classe d'équivalence, par ailleurs il constitue une référence nécessaire « à l'extrapolation et à la découverte des formes de cette unité » « La subdivision de l'espace vectoriel de description à autant de parties constitutives que d'unités de voisinage offre une règle d'identification et de classification des formes. La morphométrie rend opératoire le principe d'une classification automatique des formes » [BEN SACI 2000, p.472].

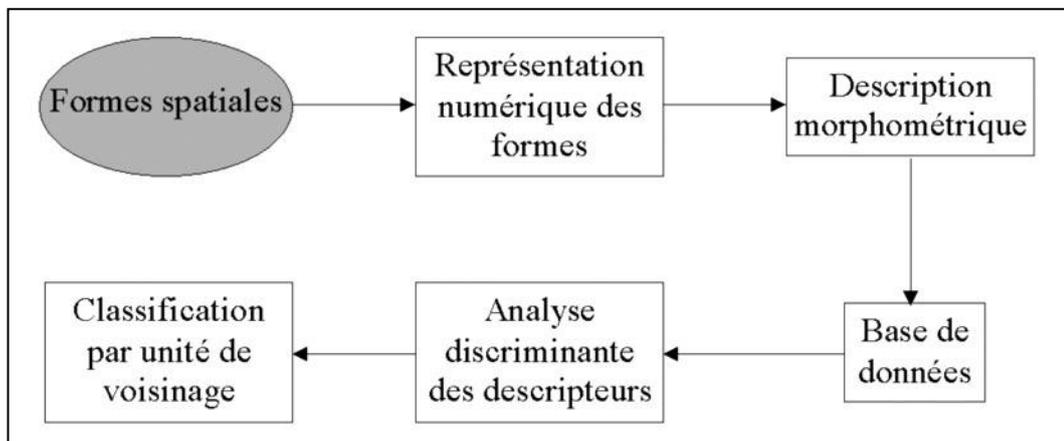


Fig. 43 : Principe de l'approche morphométrique de description et d'identification des formes spatiales. (d'après [BEN SACI 2000,p. 472])

Conséquences et perspectives

A Ben Saci conclue son travail par l'énoncé des perspectives possibles quant à l'application de sa recherche. Il envisage notamment une application de la morphométrie sur la pratique de l'architecture, comme outil d'aide à la décision, ou la didactique de l'architecture : « la production architecturale a des fondements morphiques que l'enseignement doit mettre en évidence » [BEN SACI, 2000,p.483]

DEFINITION DES SIG

Il s'agit ici de préciser quelques notions relatives aux Systèmes d'Information Géographiques (SIG), corollaires à l'étude. Ces quelques précisions concernant un outil essentiel, permettront de mieux cerner la démarche mise en place ainsi que la méthodologie utilisée. Leur mode de présentation volontairement synthétique et non exhaustif vise une approche rapide et aisée pour le profane.

1. Définition

« Un SIG est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace »⁶

2. Fonctionnalités de base

- Acquisition de données géographiques d'origines diverses
- Gestion pour le stockage et la recherche de données
- Analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation
- Présentation (*exportation*) des résultats sous forme cartographique

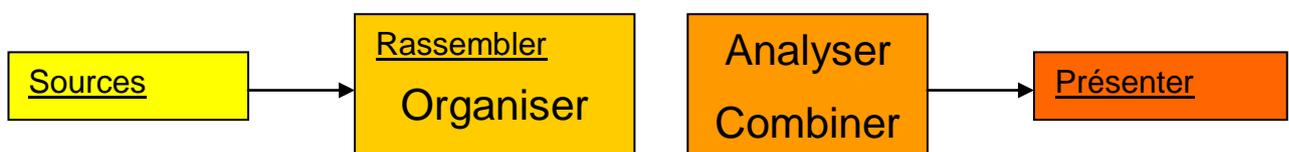


Fig. 44 Fonctionnement d'un SIG

3. Objectifs d'un SIG

- La cartographie « automatique » : possibilité de choisir les **objets** à cartographier et l'**échelle de la représentation**.
- Les simulations

⁶ Société française de photogrammétrie et de télédétection, octobre 1989

4. Attributs des objets

Ils sont de 2 types :

- **alphanumériques** : description de l'objet (texte, booléen, etc....)
- **spatiaux** : géométrie, position dans l'espace. Ces attributs spatiaux sont de différents types : Point, Ligne et Surface

5. Modèles de données géométriques

- Le point : coordonnées X,Y, parfois l'altitude Z.
- L'arc : succession de jonctions entre une succession de points.
- Ces jonctions peuvent être de différentes natures: droites, courbe (spline, Bézier), arc de cercle, virtuelle. L'arc est orienté.
- Le nœud : extrémité d'un arc, permet de l'orienter (nœud de départ et nœud d'arrivé), suppose un parcours dans un graphe.
- Les surfaces : délimitées par des parcours d'arcs, connectés par des nœuds définis dans un graphe planaire.
- Les solides : ne sont pas gérés directement par les SIG.

6. Structure des données dans un SIG

- Une carte : équivalent SIG d'une base dans le langage SGBD
- Un thème (ou couche) : ensemble d'objets géographiques homogènes, décrits par les mêmes attributs.
- Un carreau : partition territoriale d'une couche.

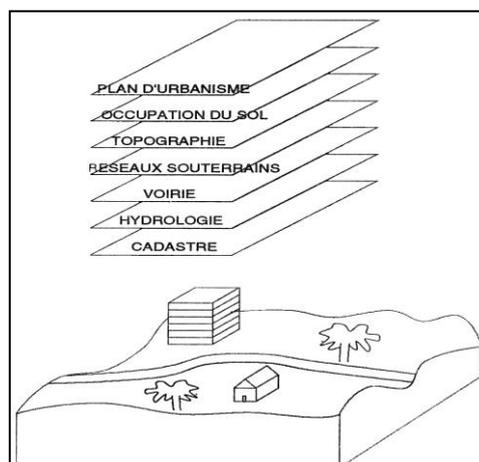


Fig.45 Couches d'informations typiques dans un SIG urbain

7. Modélisation dans un SIG

Le but de la modélisation est de décrire fonction du point de vue de l'utilisateur dans un schéma conceptuel :

- Un ou plusieurs **thèmes**
- Les **attributs** des objets géographiques
- Les **relations** entre objets de plusieurs thèmes

Conclusion : intérêts des SIG appliqués à cette étude

Les fonctionnalités et les caractéristiques générales des SIG définies, il convient de situer ici plus précisément le rôle spécifique des SIG.

Nous l'avons vu, les SIG permettent de combiner des données de différentes natures (géométriques, spatiales, sémantiques) et de gérer les relations de ces données entre elles. Les travaux de recherches sur les SIG s'orientent vers de multiples applications, qu'elles s'attachent plus particulièrement aux relations entre données géométriques ou à compléter les relations entre les objets du SIG. La notion d'objet se trouve en position centrale de ces développements. Je vais reprendre ici une partie du travail de recherche d'Anne Sophie ALLARD [ALLARD 2001] et de Benoît ROVER [ROVER 2001] dans leurs définitions des caractéristiques des SIG. Le distinguo se fait entre l'objet spatial et l'objet non spatial. L'objet spatial se retrouve dans les SIG conventionnels ; l'acceptation du terme suppose un objet réel, possédant une géométrie, un caractère thématique [ARONOFF 1995, MOLENAAR 1989]. Les objets non spatiaux, parmi lesquels se trouve la sémantique liées aux objets spatiaux (toponymie par exemple), mais aussi les objets liés aux systèmes de gestion de bases de données (Database Management Systems ou DBMS). Les objets qui nous concernent ici sont les objets spatiaux, car c'est sur la forme des objets que se portera l'analyse.

Les objets possèdent des attributs et sont liés par des relations.

Ces attributs rassemblent les caractéristiques :

- géométriques : position, orientation, **forme**, taille
- sémantiques : fonctionnalité, sens, usage

- radio métriques : matière, couleur, réflectance

L'encodage des relations spatiales fait l'objet de trois approches différentes :

- la mesure, approche de calcul, basée sur la comparaison de valeurs numériques relatives à la position des objets dans l'espace (euclidien). Il s'agit d'une approche gourmande en puissance de calcul.
- la topologie, codage des relations spatiales basé sur la proximité des objets indifféremment de la distance.
- l'ordre, relation mathématique « < » ou « > », qui organise les objets en arbre de façon hiérarchique. L'exemple pertinent d'un bâtiment situé sur une parcelle qui sera représenté dans son codage par la simple relation « bâtiment<parcelle » révèle l'intérêt de cette dernière méthode de codage.

Pour conclure cette présentation des SIG, il apparaît que l'application prévue dans ce travail en fera un usage totalement traditionnel : l'étude se concentre sur le plan du tissu urbain, plus précisément l'îlot et la parcelle. Les objets seront donc placés dans quelques couches simples et les relations spatiales qui les lient seront de nature géométrique.

PRINCIPE GENERAL

L'état de l'art réalisé sur les principales directions de ce travail permet de dégager certaines hypothèses de travail et une méthodologie applicable.

Le principe général développé ici se fonde sur l'application partielle de la théorie d'Abdelkader Ben Saci sur un corpus de formes urbaines bien définies : il s'agit des tissus urbains que l'on retrouve dans la trame urbaine de Strasbourg. La première étape de ce travail est de nature documentaire : il s'agit de constituer le corpus de tissus urbains. La seconde étape, expérimentale, consiste à choisir la nature du matériau sur lequel va porter l'expérimentation. Les protocoles de codifications de l'information ainsi que le choix du support d'information sont définis.

Une fois le corpus établi de façon théorique et constitué d'un point de vue pratique, le traitement mathématique peut être appliqué ; l'analyse et l'interprétation des résultats fourniront les conclusions relatives à l'ensemble de la démarche.

D'une manière générale il est possible de réduire le principe de ce travail au passage d'une approche discursive de la notion de forme urbaine à une approche quantitative.

CORPUS : TISSUS URBAINS DE STRASBOURG

La définition du corpus est fondamentale dans cette étude, en effet c'est de cette opération dont dépend en grande partie l'ensemble de la démarche.

Le terrain de cette analyse est le territoire de la ville de Strasbourg, il s'agit d'une ville ancienne comportant une grande variété de tissus urbains bien caractérisés. L'accès aisé aux données, ainsi qu'une connaissance préalable de la ville se sont également avérés déterminants dans ce choix.

Présentation générale de la ville de Strasbourg

Le site d'implantation originel de la ville correspond à une zone marécageuse, point de confluence de trois cours d'eau : le Rhin, le Bruche et l'Ill.

L'implantation d'un camp romain sur ce site en l'an 12 avant J.-C. marque le début du processus d'urbanisation. Une agglomération civile « spontanée » vient rapidement s'adjoindre au camp militaire. Si la ville conserve un rôle secondaire sur le plan politique, la capitale régionale de la période du Bas Empire étant Brumath, elle devient rapidement un carrefour routier important. Strasbourg conserve son rang lorsque l'Empire romain commence à connaître des difficultés. Elle demeure confinée dans le castrum lorsqu'elle devient le siège de l'épiscopat. Celui-ci présente une organisation spatiale bien déterminée autour des axes Est-Ouest. L'évêque est chassé de la ville au XIII^{ème} siècle par la bourgeoisie locale et la ville acquiert son statut de ville libre d'empire en 1358. La morphologie de la ville évolue parallèlement à ces évolutions politiques. Elle se voit dotée d'une enceinte circulaire qui sera réalisée par étapes successives : d'abord le noyau central entre 1200 et 1250, puis les faubourgs du XIV au XV^{ème} siècle. La ville neuve se développe devant l'ancienne porte prétorienne. La ville accueille progressivement des ordres religieux qui colonisent différents espaces et viennent s'ajouter aux artisans et aux commerçants pour atteindre 20 000 habitants environ à la fin du Moyen-Age. Le tissu urbain se développe en fonction des activités humaines, relativement dense au centre il devient plus lâche sur les faubourgs où se

situent les activités maraîchères de la ville. Si la zone d'influence politique, économique et religieuse de la ville s'étend progressivement, l'emprise de la ville reste limitée à 200ha environ. A la fin du Moyen Age, la ville forme une ellipse avec des faubourgs au-delà des cours d'eau qui la génèrent.

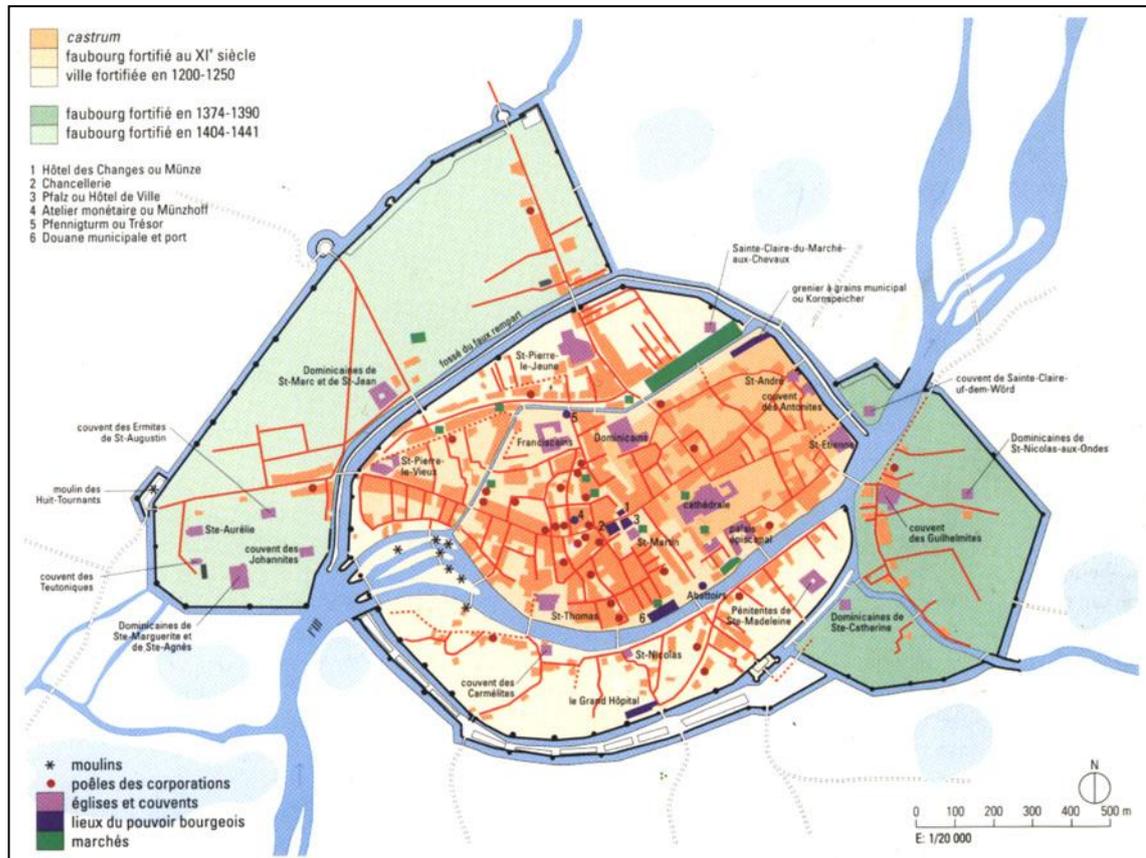


Fig. 46 : carte de Strasbourg à la fin du Moyen age. (Extrait de l'Atlas Historique des villes de France, p.125)

La guerre de Trente Ans stoppe momentanément la progression du développement urbain. En 1681 la ville devient française, une citadelle et des barrages dessinés par Vauban viennent compléter le système défensif de la ville. Cette période connaît également quelques modifications du tissu urbain, les immeubles gagnent en hauteur et un cycle de démolitions et de reconstructions transforme l'aspect de quelques rues. De nouvelles activités économiques s'installent dans la ville et ses faubourgs durant le XVIII^{ème} siècle. Les quartiers du centre à population et densité s'opposent à ceux de la périphérie moins densément peuplés et plus ruraux. La diversité des activités des différents corps de métiers se retrouve dans la morphologie de la ville. La ségrégation sociale caractéristique de l'Ancien Régime est lisible dans la spatialisation des activités urbaines. Durant toute cette période la ville conserve

un dispositif défensif important, les plans publiés à cette époque attestent de l'importance de ces fortifications.

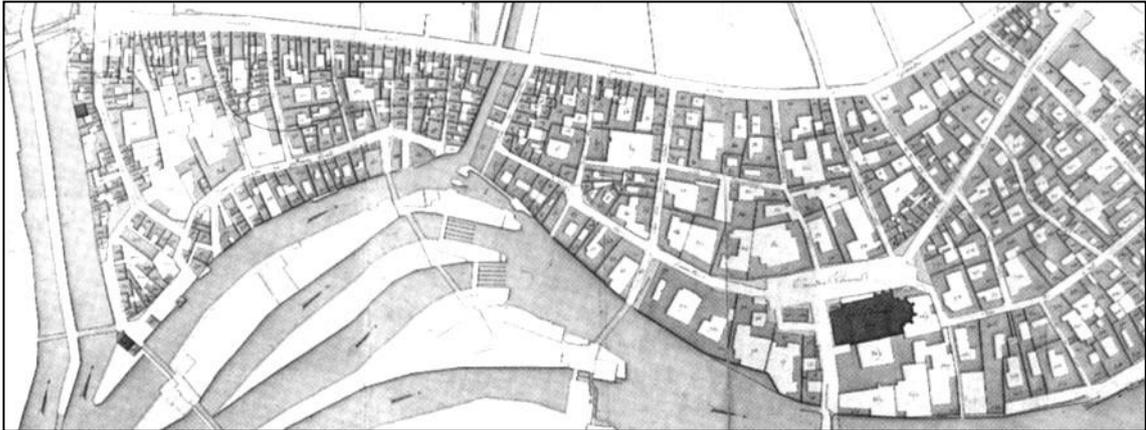


Fig. 47 : Ségrégation sociale et spatiale : le parcellaire de la Grand Rue présente des variations dimensionnelles importantes entre l'ouest, lieu des boutiques et l'est, celui des grands hôtels. (Extrait de l'Atlas Historique des villes de France, p.125)

Parallèlement à ces aménagements, les différents gouverneurs militaires créent des promenades (Contades ou Lenôtre) aux portes de la ville.

Le projet urbain le plus important de cette période est le plan d'aménagement proposé par J.F. Blondel en 1765. Ce plan, qui n'a finalement quasiment pas été réalisé par manque de moyens, prévoyait un ré ordonnancement et un embellissement complet du centre ville.



Fig. 48 et 49 : Strasbourg et son carcan de fortification : à droite, le plan général de Heer (1672) et à gauche le plan de 1871. L'emprise du système défensif de la ville occupe un espace très important. (Extrait de l'Atlas Historique des villes de France, p.131)

La ville est prise par l'armée prussienne en 1871, le jeune état allemand fait de Strasbourg la capitale du Reichsland d'Alsace-Lorraine. La ville va ensuite

connaître une période de développement durable et important. Elle se voit dotée d'un ensemble d'équipements publics (développement de l'Université, nouvel espace civique). A l'approche du XX^{ème} siècle, les fortifications rendues inutiles par les progrès de l'artillerie sont déclassées et 190 hectares de terrain seront acquis par la municipalité. C'est l'architecte Conrath qui voit son projet retenu pour le développement de cette nouvelle partie de la ville, la « Neustadt », encore qualifié de quartiers allemands. L'accroissement conséquent de la ville provoque une détente de marché foncier et facilite la réalisation de la Grande Percée dans la vieille ville. Celle ci sera réalisée en plusieurs tranches : la première de 400m de 1912 à 1915 sera poursuivie dans les années 1930 et sera achevée dans les années 1950.



Fig. 50 : La Grande Percée, rue du 22 novembre et rue des Francs Bourgeois (Extrait de l'Atlas Historique des villes de France, p.135)

La période qui suit les deux guerres mondiales sera celle de la reconstruction pour la ville de Strasbourg. Dans la vieille ville, les bâtiments remarquables endommagés par les conflits sont reconstruits, souvent à l'identique. Quelques squares et petites places sont néanmoins réalisés afin d'aérer le centre de la vieille ville. Les premières opérations liées aux grands ensembles débutent durant les années 50. La cité Rotterdam, parc de 800 logements, est mise en

chantier ; les premiers logements sont livrés en 1953, deux ans après le concours remporté par Eugène Baudouin face à Le Corbusier notamment. Les terrains militaires déclassés ont également permis la réalisation des nouveaux bâtiments universitaires et de l'Esplanade (construction de 4000 logements) dont le plan masse fut établi par Gustave Stoskopf durant les années 1960. La construction de la cité de Hautepierre, une autre opération d'envergure, dont le plan masse réalisé par P. Vivien, se base quant à elle sur les théories urbaines liées au rapport Buchanan et au concept d'unités de voisinage. Cette dernière réalisation se caractérise par un plan en mailles.

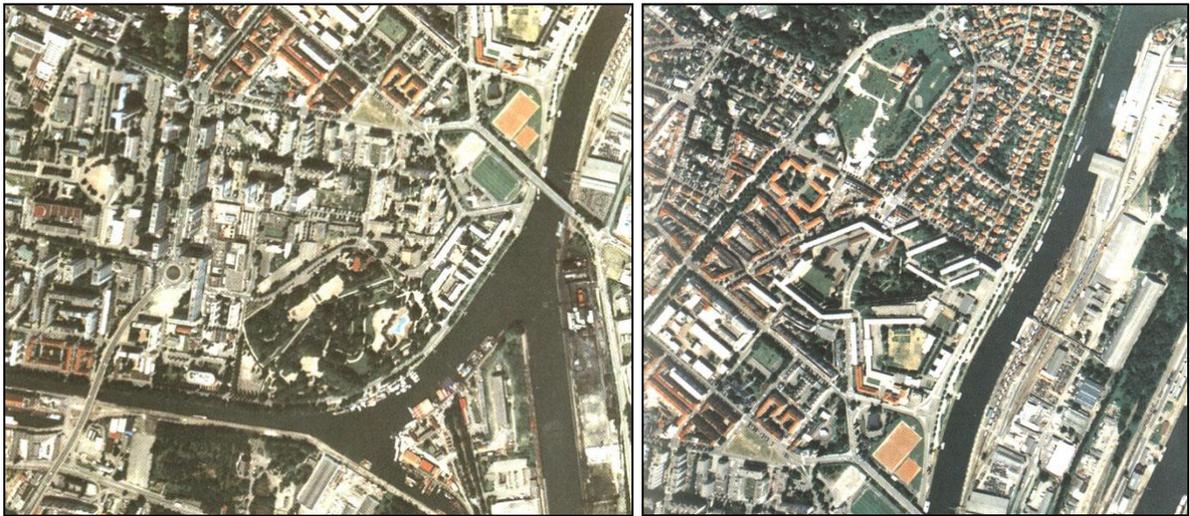


Fig. 51 et 52 : Les « grands ensembles », le quartier de l'Esplanade (à gauche) et la cité Rotterdam (à droite), présentent des tissus urbains qui s'éloignent des types traditionnels. (Extrait de l'Atlas Historique des villes de France, p.135)

Les tissus urbains, compris au sens morphologique, représentent une cristallisation de leur genèse. C'est pourquoi cette présentation chronologique du développement de la ville de Strasbourg correspond à une introduction cohérente de son analyse. La diversité des tissus rencontrés s'explique aisément dans le cas de Strasbourg : il ne s'agit pas d'une ville de fondation mais bien d'une ville spontanée, une ville « devenue » (*gewordene Stadt* en allemand). Sa forme actuelle consiste en une superposition ou une juxtaposition de tissus urbains divers. L'analyse présentée dans ce travail va s'attacher à en identifier quelques-uns.

Typologie

La classification des tissus urbains de Strasbourg retenue est liée à une étude empirique et systématique de la ville, les résultats de ce travail sont présentés en annexe.

Il s'agit de repérer de manière empirique sur le plan cadastral de la ville, les exemples caractéristiques des types de tissus urbains. L'étude présentée en annexe comporte également l'analyse du cadre bâti, il n'en sera pas question ici. Cette collecte d'information suppose une typologie établie, celle ci distingue les types et sous types suivants :

1. Tissu Urbain Fermé (constructions contiguës, dites en ordre fermé)

1.1 TUF Ordonné Régulier

- ordonné régulier, à rues droites (« haussmanien »): TUFORD
- ordonné régulier, à rues courbes : TUFORC

1.2 TUF Irrégulier, qualifié d' « organique »

- à découpage des îlots en petites parcelles TUFIP
- à découpage des îlots en grandes parcelles TUFIG

L'ensemble des tissus de ce type sera désigné par TUF1

2. Tissu Urbain Ouvert (constructions isolées, dites en ordre ouvert)

2.1 TUO à Maisons Isolées Traditionnelles

- ordonné, régulier (selon trois critères : système des voies, mode de découpage des îlots, implantation et hauteur du bâti)
- régulier (selon deux critères : système des voies, mode de découpage des îlots, mais liberté de bâti sur la parcelle)
- libre (sur les trois critères)

Ces trois sous types ne seront pas distingués, le terme englobant retenu est TUOMIT

2.2 TUO en Open Planning

(à base de volumétries architecturales modernes : bloc ou plots, tours et barres)

- ordonné
- libre

Dans ce cas également une désignation générique va être définie de la même manière : TUOOP

Contrairement à l'analyse du tissu urbain présenté en annexe, la constitution du corpus ne nécessite pas la construction d'un tableau synoptique dans le cas présent, car l'analyse fréquentielle qui sera appliquée ainsi que la présentation des résultats (courbes, nuages de points) diffère totalement.

La définition du corpus suppose une définition précise des niveaux de lecture envisagés pour être pertinente. Les niveaux de lecture retenus se situent à l'échelle de l'îlot et à l'échelle du découpage parcellaire de cet îlot.

Ces précisions faites, il est possible de passer à la constitution de ces catalogues de types de tissus urbains.

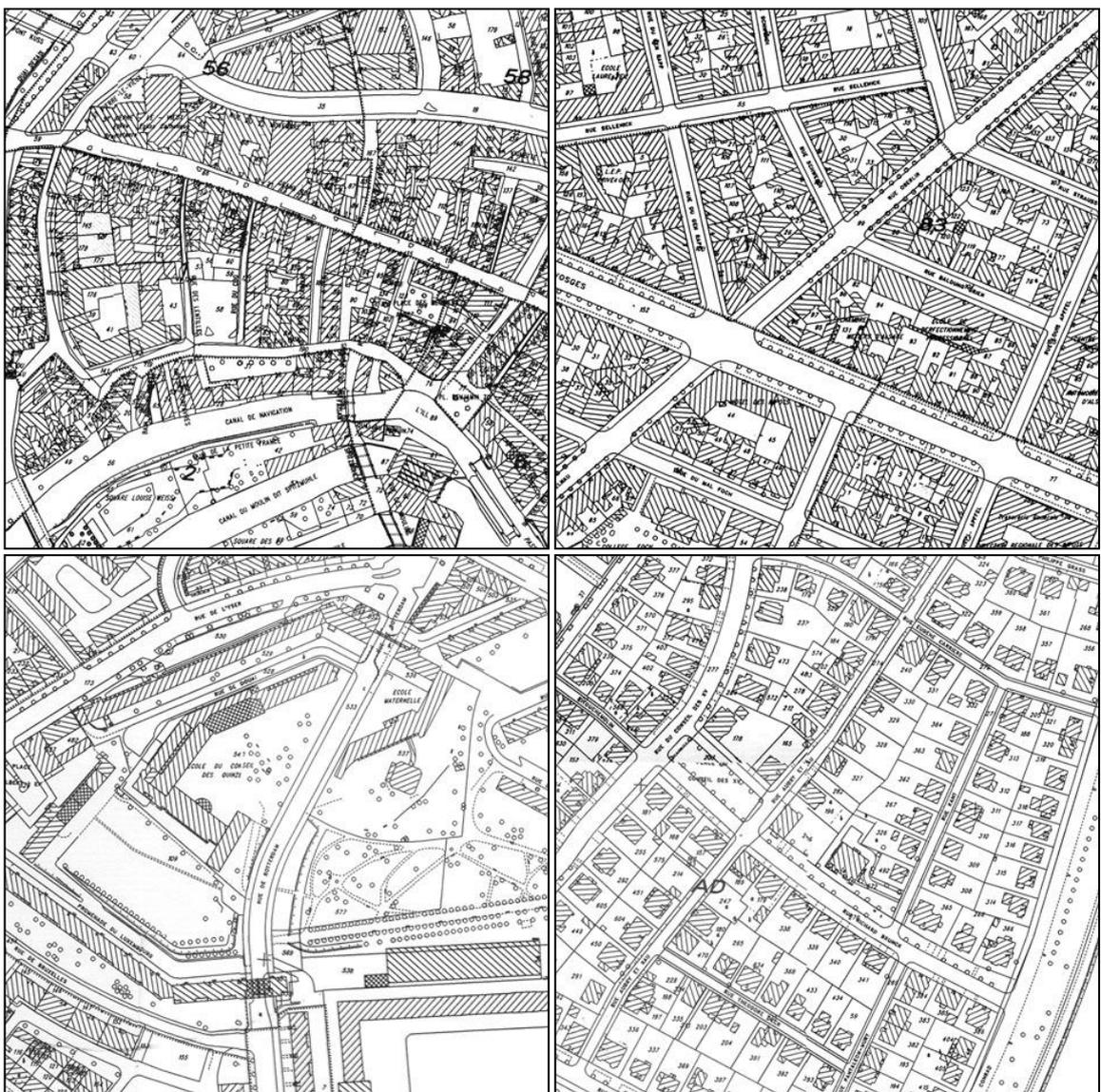


Fig. 53 : Différents tissus urbains de Strasbourg présentés à l'échelle identique (1/4000^{ème}). Dans le sens des aiguilles d'une montre : des TUFU (la Petite France), des TUFORD (l'extension allemande), un TUOOP (la cité Rotterdam) et un TUOMIT

METHODE DE TRAVAIL

Nous passons maintenant à l'aspect le plus pragmatique de la démarche. Il s'agit de constituer un corpus de formes selon les critères établis préalablement par l'analyse urbaine. Comme toute phase expérimentale, celle-ci comporte un certain nombre d'aspects pratiques inhérents à l'usage d'outils adaptés. La présentation de ces outils peut paraître triviale, il n'en est rien. En effet si les choix typologiques de constitution du corpus étaient guidés par des outils théoriques d'analyse urbaine, sa concrétisation dépend de facteurs externes. Par ailleurs le corpus ainsi constitué passera à travers différents traitements pour en réaliser l'analyse projetée. Il est important de souligner ici l'influence majeure de ces outils d'analyse sur les résultats. Ceux-ci ont été développés dans l'intention d'obtenir un type de données bien défini cette démarche.

En préalable, ce schéma expose le principe général de cette phase expérimentale d'une manière synthétique.

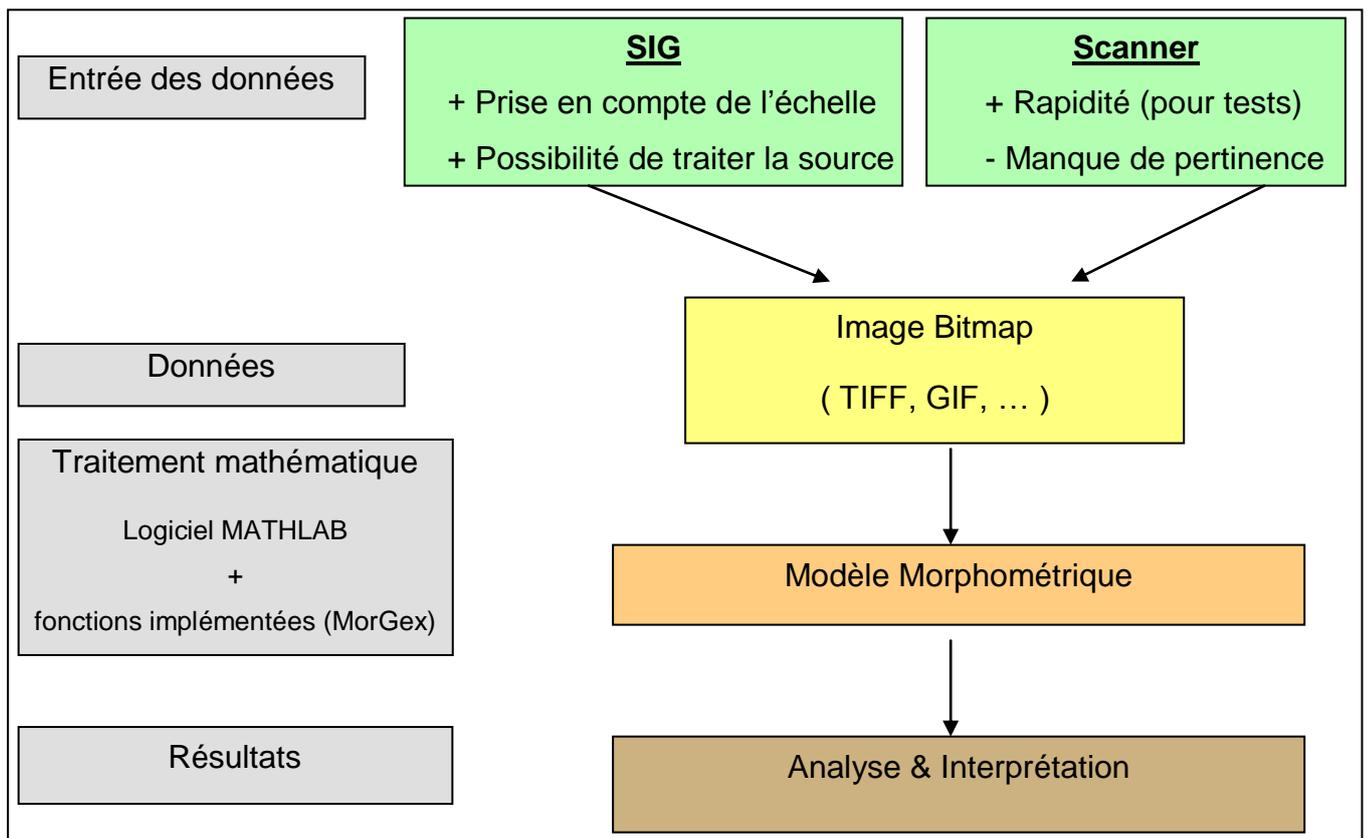


Fig. 54 : Principe général de la phase expérimentale

Les outils de constitution du corpus

Cette étude s'attache à analyser le tissu urbain, plus particulièrement celui de la ville de Strasbourg. La télécologie de cette phase expérimentale révèle l'importance d'une adéquation de la représentation de ces éléments à la finalité de l'expérimentation. Dans un premier temps il s'agit de constituer une base de donnée géographique quasi exhaustive et cohérente qui couvre l'ensemble du territoire de la ville. L'outil de prédilection pour ce type de travail est bien sûr le SIG. La base de donnée utilisée comportant des lacunes importantes, il est nécessaire de compléter cette base de donnée. Le plan cadastral de la ville comporte les informations suffisantes et nécessaires à la constitution de cette base. L'échelle de représentation de ce document (1/2000^{ème}) correspond idéalement : l'étude porte sur les îlots et leur découpage parcellaire, le détail du bâti demeure ici secondaire, or ils sont représentés de façon pertinente sur ce document. Le document support de référence sera donc constitué d'une part par des données sélectionnées issues de la base de données SIG et d'autre part de la collecte des données du cadastre. La compilation de ces informations permet de constituer une base de données vectorielle (au format DXF) suffisamment riche pour permettre l'extraction des renseignements nécessaires à l'élaboration du corpus. Toute cette démarche peut paraître complexe au lecteur ; il faut garder à l'esprit que seule l'insuffisance de la base SIG la rend nécessaire. Dans le cas où celle-ci s'avérerait complète, la seule utilisation des outils du SIG eût été suffisante. Une alternative possible était la réalisation de la sélection parmi les seules données disponibles. Cette solution de facilité n'était pas pertinente : les tissus urbains sélectionnés auraient présenté une trop grande hétérogénéité de forme car la constitution d'un classement de typologies de tissus urbains, en amont à l'application des outils d'analyse fréquentielle, n'était pas possible.

Une série de fiches (144 exactement) est ensuite extraite de cette base de donnée vectorielle à l'aide de l'outil de dessin assisté par ordinateur (DAO). Ces fiches seront ensuite traitées individuellement à l'aide d'un logiciel de dessin vectoriel puis par un logiciel de retouche d'image afin de les formater selon les critères requis (dimensions, couleurs) par les outils de traitement

mathématiques et d'en sélectionner successivement les îlots seuls et les îlots accompagnés de leur découpage parcellaire.

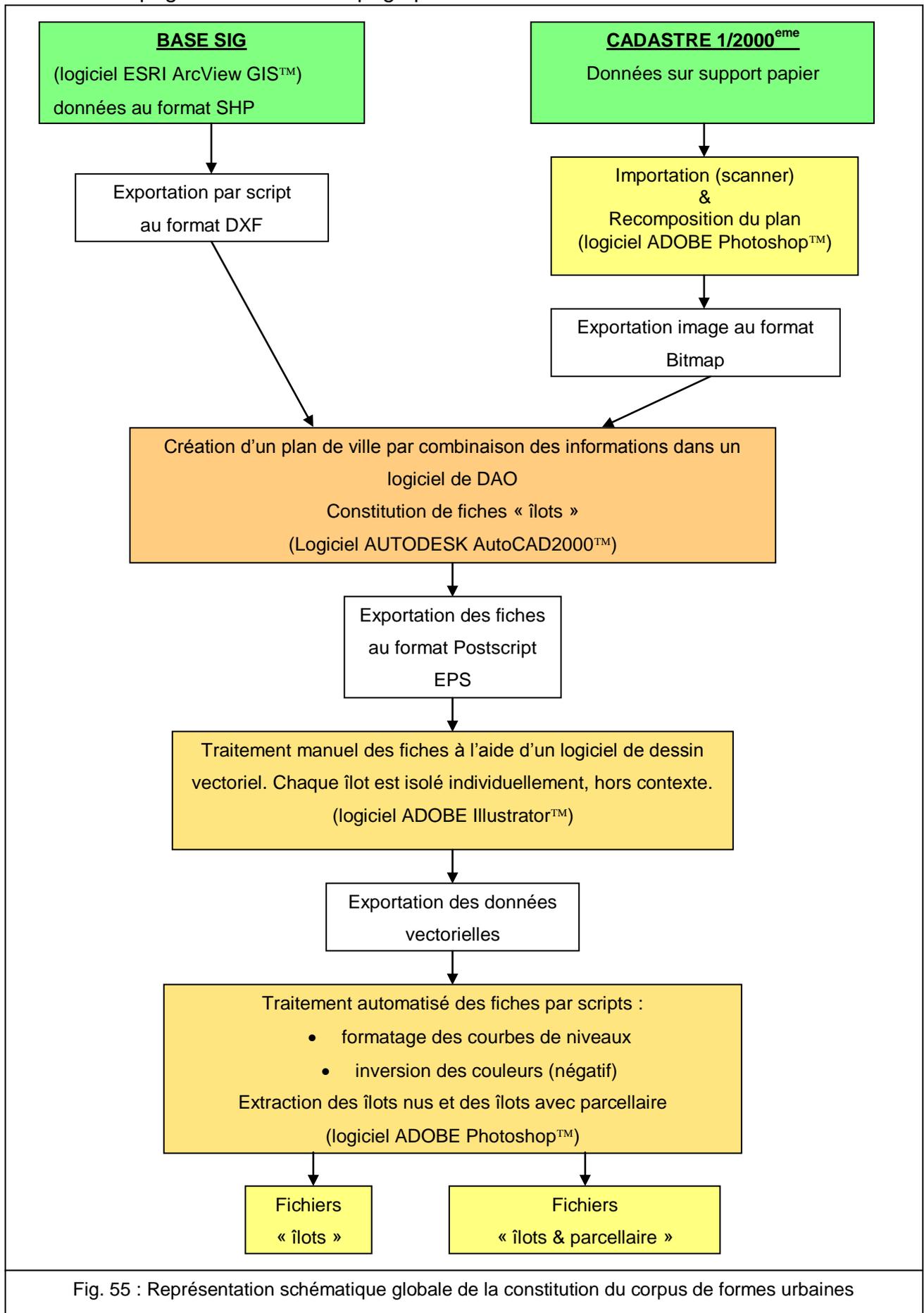


Fig. 55 : Représentation schématique globale de la constitution du corpus de formes urbaines

Constitution d'un corpus de références typologiques

Le logiciel de SIG

Le logiciel de SIG utilisé au cours de ce travail est ArcView 3.2, il est distribué par la société ESRI. Ce logiciel permet l'acquisition, la gestion, l'analyse et la présentation de données géographiques. La nature fragmentaire de la base de données utilisées nous conduit à nous intéresser plus particulièrement à cette dernière fonctionnalité, si nous comprenons le terme présentation au sens d'exportation. Le thème qui nous concerne le plus directement contient les attributs spatiaux des îlots et du parcellaire de la ville. Les données alphanumériques n'apportent absolument rien à l'étude dans le cas présent. ArcView 3.2 est utilisé pour uniformiser les données relatives aux îlots avant de les exporter. Cette dernière opération nécessite l'usage d'un script particulier pour pouvoir acquérir l'ensemble des données dans le logiciel de DAO. Ce script nous a été fourni à notre demande par la société ESRI. Les deux figures suivantes présentent l'interface de ce logiciel.

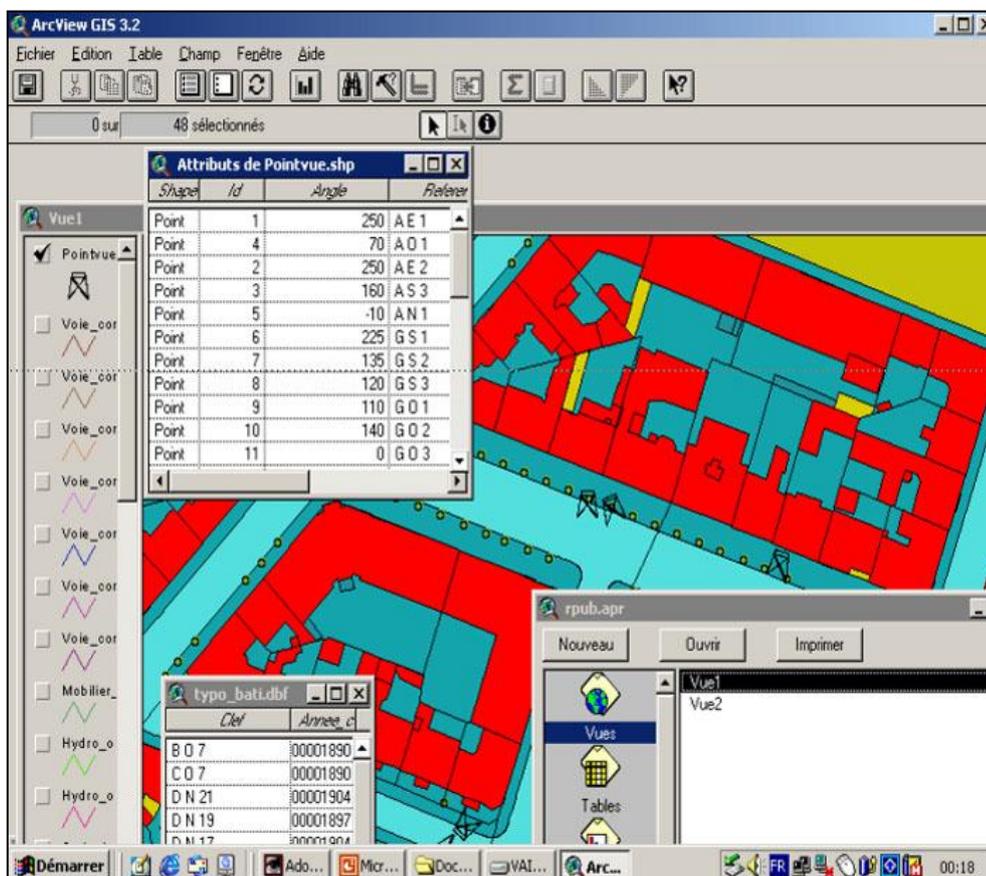


Fig. 56 : Interface ArcView 3.2, tables et thèmes. Le thème contient les ici attributs spatiaux (géométriques) à traiter.

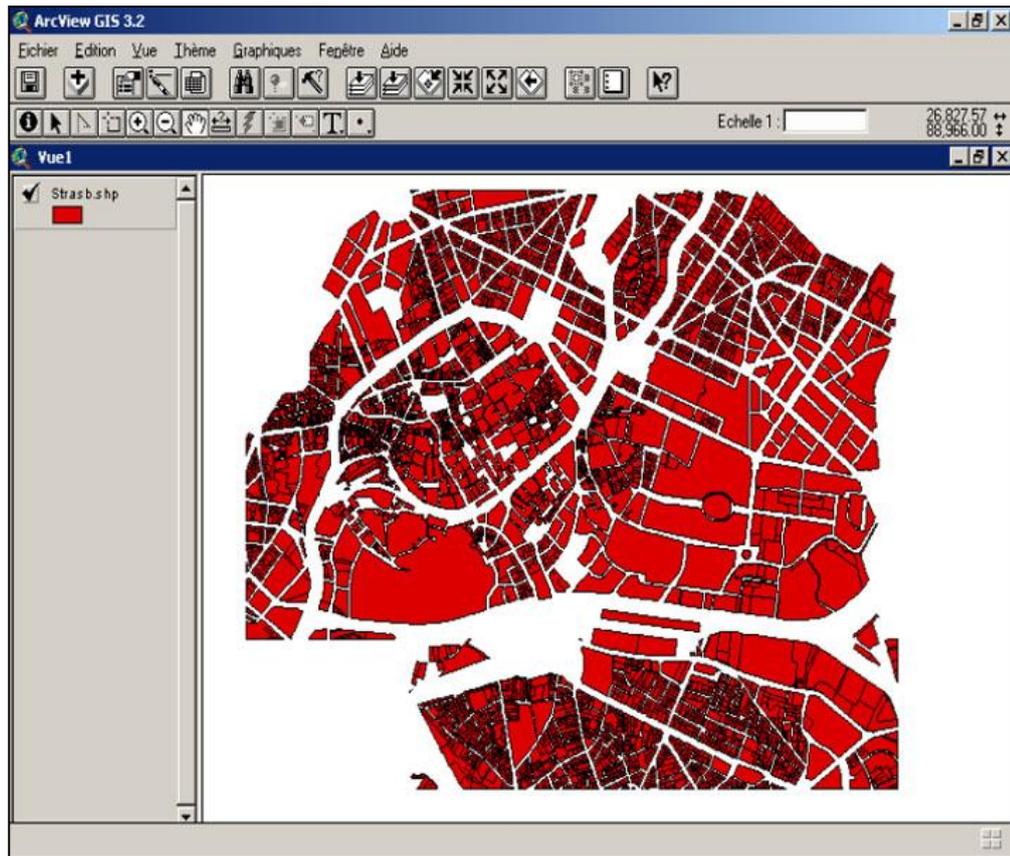


Fig. 57 : Interface ArcView 3.2, thème. Le thème *Strasshp* contient les attributs spatiaux (géométriques) à traiter. L'état fragmentaire des données apparaît ici de façon très nette

Les données mises en formes et uniformisées sont ensuite exportées dans un logiciel de DAO afin de les compléter.

Logiciel de DAO

Les données sont importées sous forme vectorielle dans le logiciel de DAO, en l'occurrence Autocad 2000 d'Autodesk. Le fichier vectoriel se voit ici adjoindre d'un fond de plan de l'ensemble de la zone étudiée. Il s'agit d'une recomposition du plan cadastral de la ville de Strasbourg au 1/2000^{ème}, réalisée à partir multiples coupures. La priorité est mise sur les données issues du SIG lors de la superposition de ces deux ensemble. Un ajustement permanent permet d'obtenir ce qu'il serait possible de qualifier « d'interpolation des données ». Il s'agit d'une opération relativement longue et fastidieuse de saisie

et de contrôle de données. La « vectorisation »⁷ automatique des fichiers images ne permettant pas d'accéder à des résultats de qualité suffisante pour permettre leur exploitation directe.

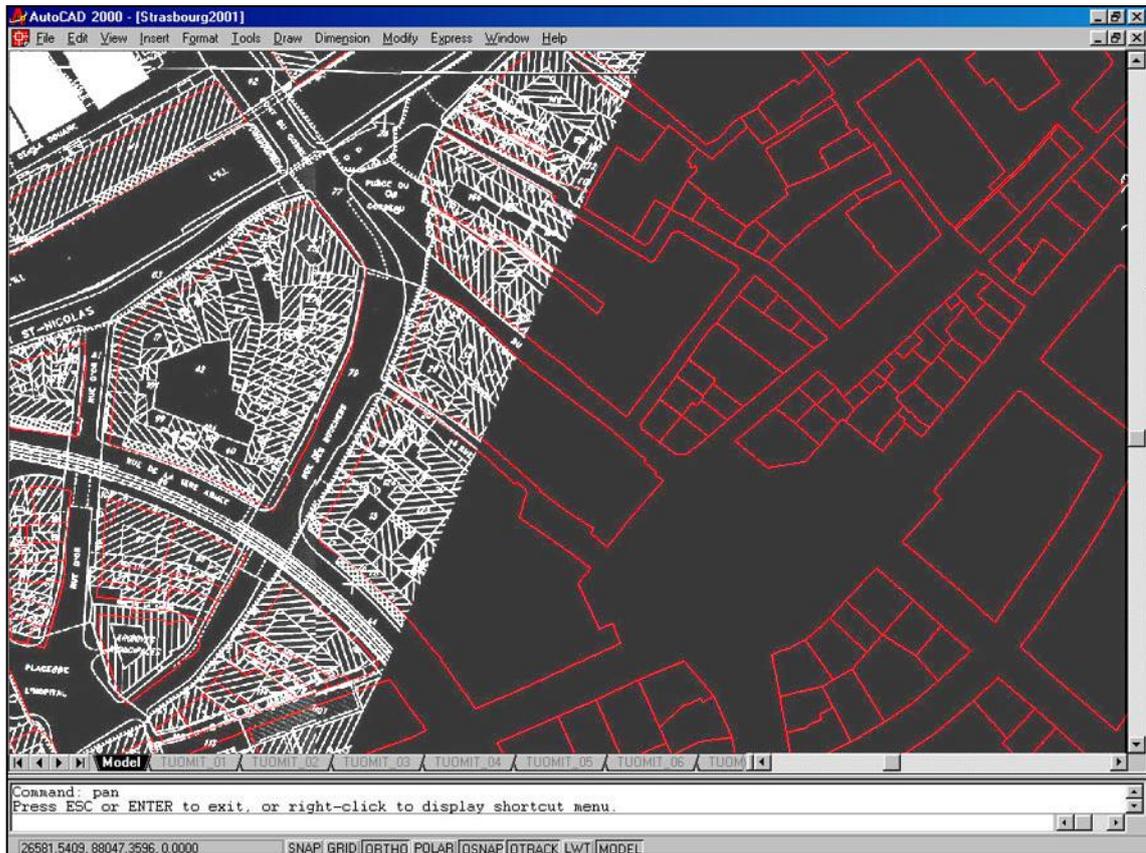


Fig. 58 : Le cadastre (en blanc) permet de compléter les informations sur le tissu urbain de la ville de Strasbourg (en rouge). L'absence de parcellaire apparaît ici de façon évidente.

Le fichier complet constitué, il devient possible de sélectionner les îlots à extraire. La sélection est réalisée selon les critères définis précédemment. Un catalogue complet d'îlots est ainsi constitué. Chaque fiche comporte une représentation de l'îlot au 1/2000^{ème} (mis à part 2 exceptions pour les tissus en open planning), une seconde représentation de l'îlot avec son découpage parcellaire et une vignette permettant de le situer par rapport à son environnement direct, son quartier⁸. Cette méthode répétée pour l'ensemble du corpus, se réalise d'une façon parfaitement systématique, qui permet d'obtenir une homogénéité de présentation de l'ensemble. Le catalogue de fiches permet

⁷ Le terme vectorisation signifie dans le contexte présent la transformation d'une image (ensemble de point, bitmap) en un fichier contenant ces données sous forme vectorielle.

⁸ Le terme quartier désigne ici l'acceptation morphologique qui en est faite.

de visualiser chaque fiche très aisément, ce qui permettra au cours de l'expérimentation de faire une correspondance entre résultats numériques et représentation graphique.

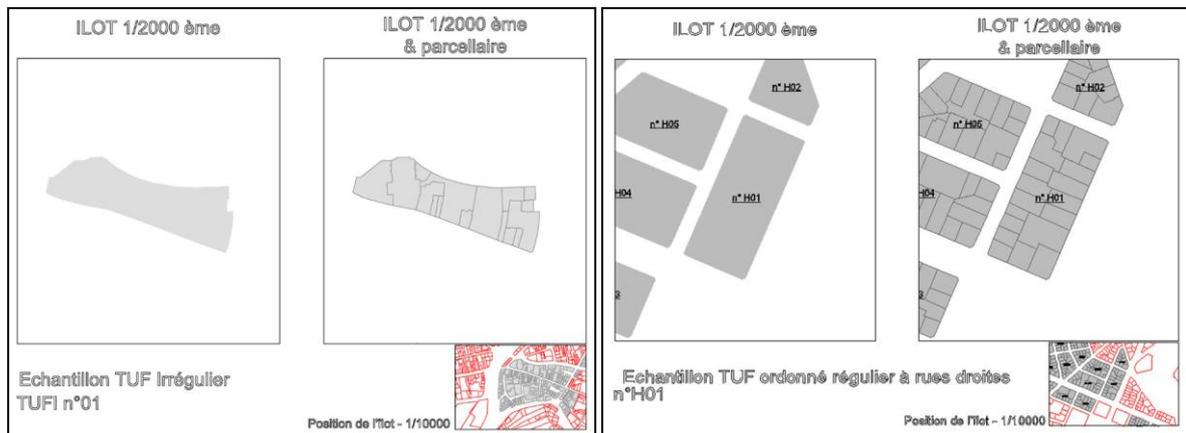


Fig. 59 : 2 exemples de fiches produites à l'aide d'Autocad. A gauche un tissu urbain fermé irrégulier du quartier de « la Petite France », à droite un tissu urbain fermé ordonné régulier à rues droites du quartier allemand de Strasbourg, la « Neustadt ». La fiche de droite correspond à un aspect brut tandis que la fiche de gauche a été traitée sous Illustrator

Les logiciels de dessin vectoriels et de retouche d'image

Les fiches générées sous Autocad doivent être « nettoyées », en effet les îlots voisins de l'îlot étudié apparaissent de manière concomitante, il faut les supprimer. L'exportation des données (au format postscript encapsulé EPS) vers un logiciel de dessin vectoriel (Illustrator9, d'Adobe) facilite cette tâche. La figure 59 compare une fiche traitée par cette opération à une fiche non traitée. Il s'agit là encore d'un ensemble de manipulations relativement fastidieuses par leur répétition.

Un logiciel de retouche d'image prend ensuite la relève dans le déroulement des opérations : les fiches issues d'Illustrator sont converties au format Tiff et formatées selon les critères requis par l'outil d'analyse factorielle. Les opérations à réaliser demeurent élémentaires, mais à l'image des situations précédentes extrêmement répétitives. Le logiciel de retouche d'image Photoshop (Adobe) permet une automatisation de ce type de tâches sous forme de scripts. En l'occurrence, le traitement complet de ce lot de fiches requiert la réalisation de trois scripts :

Script « RVB Gris&inversion »

Ce script a pour but de :

1. transformer l'image vectorielle en couleur issue d'Illustrator en une image en niveau de gris bitmap
2. modifier les couleurs avant extraction des fichiers
3. passer l'image en négatif

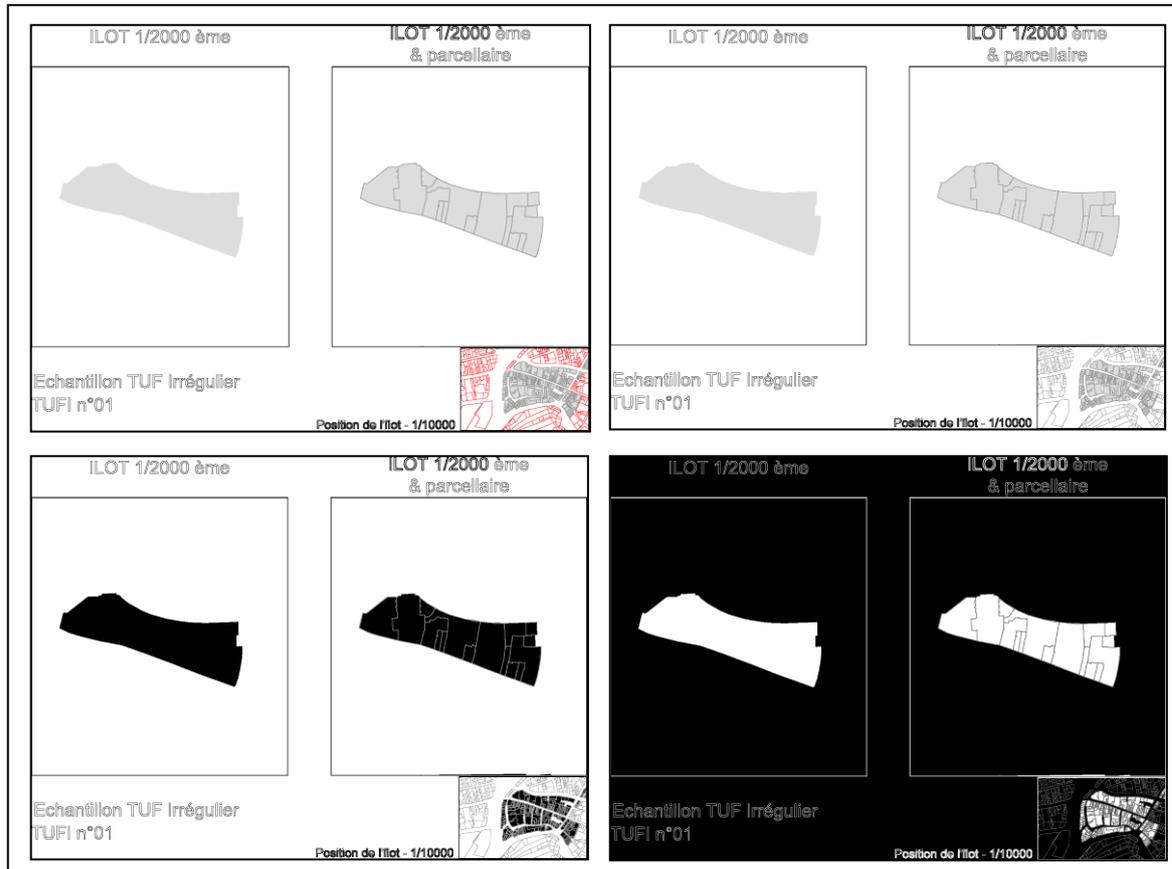


Fig. 60 : l'application du script « RVB_Gris&inversion » transforme l'image originale (en haut, gauche) en image en niveaux de gris (en haut, droites), réalise une modification des couleurs (en bas, gauche) puis une inversion vidéo.

▼ **nivGris_couleur_negatif**

- ▼ Ouvrir
 - F: \FUCHS Alain Stage DEA 2001
 - En tant que: PDF générique
 - Résolution: 59,055 par cm
 - Mode: <unknown>
 - Numéro de page: 1
- ▼ Changer le mode
 - Vers: mode niveaux de gris
 - Aplatir l'image
- ▼ Remplacement de couleur
 - Tolérance: 20
 - Minimum: niveaux de gris
 - Gris: 13,33
 - Maximale: niveaux de gris
 - Gris: 13,33
 - L: -100
 - Négatif
- ▼ Enregistrer
 - En tant que: TIFF
 - Ordre des octets: IBM PC
 - Avant: F: \FUCHS Alain Stage DEA 2001
 - Avec Minuscules
 - Fermer

Scripts « sélection îlot » et « sélection îlot&parcellaire »

Ces deux scripts sont similaires et permettent de recadrer et d'extraire les deux versions de l'îlot, respectivement avec et sans parcellaire.

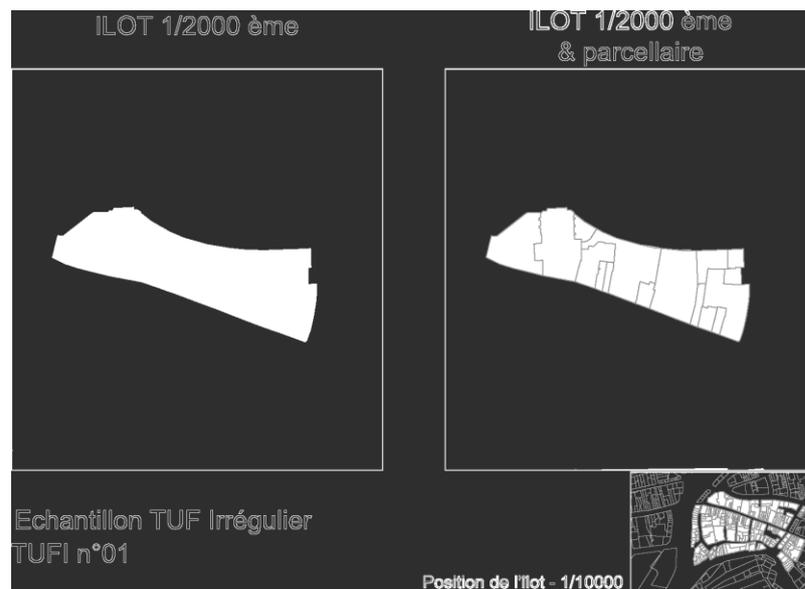


Fig. 61 : Fiche d'un îlot complète

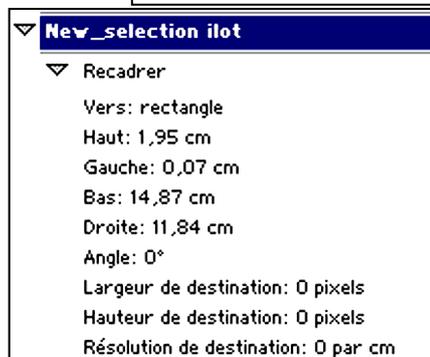
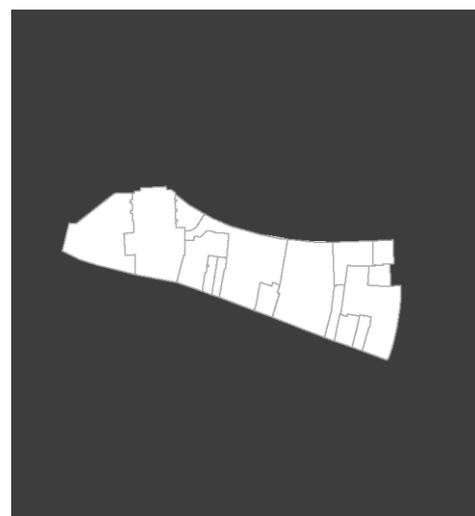


Fig. 62 : Sélection de l'îlot seul, à droite l'image résultante, en haut le script.



Fig. 63 : Sélection de l'îlot avec le parcellaire, à droite l'image résultante, en haut le script.



La totalité du corpus de formes se trouve en annexe, celui-ci se compose de 144 îlots différents répartis de la manière suivante :

- Tissus Urbains Fermés Irréguliers (TUFI) : 67 îlots
- Tissus Urbains Fermés Ordonnés Réguliers
 - à Rues Droites (TUFORD) 31 îlots
 - à Rues Courbes (TUFORC) 4 îlots
- Tissus Urbains Ouverts Réguliers (TUOMIT) 29 îlots
- Tissus Urbains Ouverts en Open Planning (TUOOP) 13 îlots

Logiciels liés à l'analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle repose essentiellement sur des outils mathématiques, développés par Abdelkader Ben Saci. Il s'agit de fonctions supplémentaires implémentées au programme Matlab. L'algorithme défini précédemment, calcule les descripteurs énergétiques des formes placées en entrée.

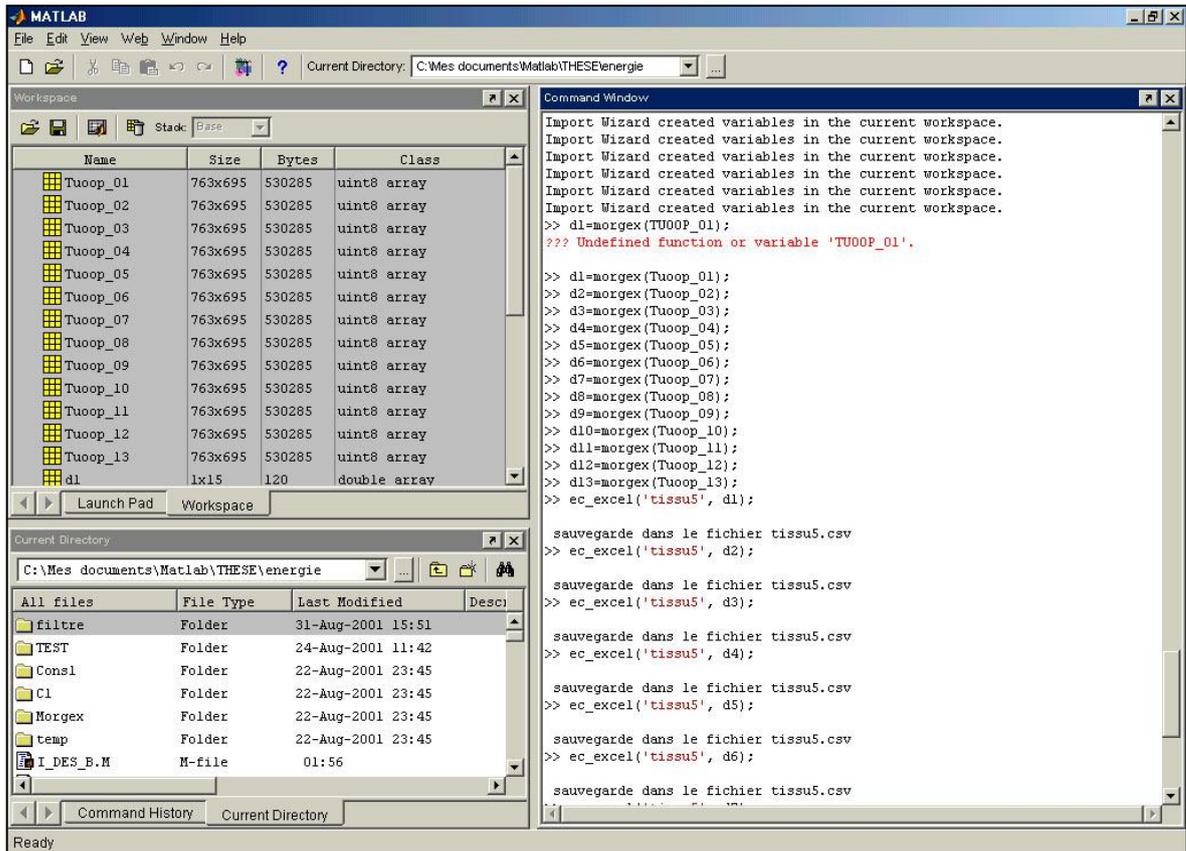


Fig. 64 : Interface de Matlab, ce logiciel, complété d'algorithmes supplémentaires, permet d'obtenir les descripteurs énergétiques de chaque forme (fichier image). Les fichiers sont ensuite enregistrés pour être analysés.

La représentation des données se fait à l'aide d'un tableur, en l'occurrence Excel (Microsoft). Celui ci permet de présenter les courbes liées aux descripteurs énergétiques puis d'afficher les résultats sous forme de nuages de points afin de pouvoir étudier la dispersion des formes suivant les axes principaux.

Les outils nécessaires à la constitution d'un corpus de tissus urbains et les outils indispensables à l'analyse de ce corpus sont maintenant définis dans leur totalité ; l'étape suivante sera donc la présentation des résultats et leur analyse.

ANALYSE & INTERPRETATION

Note : Le corpus de formes traitées, ainsi que les résultats obtenus sont présentés en annexe.

Les descripteurs énergétiques obtenus à l'aide du logiciel Matlab sont traités par analyse factorielle afin d'en retirer les composantes principales et déterminer ainsi les axes énergétiques qui portent la plus grande quantité d'information.

Le calcul de la dispersion mesure la répartition de l'information contenue par les différents axes. Il apparaît de manière évidente que l'information se porte essentiellement sur les deux premiers axes (de 86%,TUF1 à 71 % TUOMIT).

Dans un premier temps, l'analyse et l'interprétation se porteront de manière individuelle sur chaque type de tissu.

Les TUF1

Le graphe des descripteurs énergétiques montre que si une majorité d'îlots est relativement proche dans le domaine topologique, quelques éléments s'éloignent considérablement de ce que l'on pourrait considérer comme une valeur moyenne. Le calcul de la dispersion montre que les axes 1 et 2 contiennent plus de 86% de l'information totale, ce qui associé à l'application d'une analyse factorielle permet d'obtenir une représentation géométrique multidimensionnelle selon ces deux axes.

La répartition qui apparaît dans le nuage de points caractéristique révèle une grande hétérogénéité morphologique entre les différents îlots. La comparaison des résultats issus de l'analyse fréquentielle aux fiches des îlots correspondants corrobore ces résultats.

Les tissus urbains fermés irréguliers constituent un groupe non homogène, si l'on s'en tient à la seule analyse des îlots. Il s'agit d'un type extrêmement diversifié par sa nature intrinsèque : il se compose de tissus urbains « organiques ».

Les TUFORC

Ce cas est un peu particulier car il ne comporte pas un nombre important de données. Les descripteurs énergétiques révèlent une conformation topologiquement proche dans ce type de tissus. La représentation en nuages de points confirme la proximité des formes de cette partie du corpus (attention à l'échelle de représentation qui varie par rapport aux TUFU).

Les TUFORD

Il s'agit là d'un type qui compte suffisamment de représentants pour réaliser une analyse complète. Les descripteurs énergétiques révèlent également une relative proximité topologique, mis à part une exception notable qui se détache des autres séries. La comparaison des descripteurs énergétiques des TUFORD aux descripteurs énergétiques des TUFU présente quelques différences : les séries des descripteurs des TUFORC sont beaucoup plus proches les unes des autres que les séries des TUFU. Nous avons là la confrontation d'un type de tissus reconnus comme homogène face à un type de tissus hétérogène.

La représentation en nuage de point, quant à elle, confirme les résultats de descripteurs énergétiques. La série qui se distinguait de l'ensemble correspond effectivement à un tissu ordonné régulier à rues droites, mais ces rues génèrent une forme trapézoïdale et non rectangulaire comme la majorité de ce type.

Les TUOMIT

Ces tissus sont à l'origine de descripteurs énergétiques proches de ceux du tissu précédent, avec une homogénéité un peu moindre, il en va de même pour la représentation en nuage de points. L'étude de la dispersion d'énergie est intéressante : ce type de tissu possède un pourcentage d'information plus faible par rapport aux tissus précédents sur l'axe 1 (54,63%) mais présente un taux moyen sur l'axe 2.

Les TUOOP

Les TUOOP possèdent des descripteurs énergétiques à l'hétérogénéité proche des TUFU mais la représentation du nuage de points diffère : les valeurs sont

beaucoup moins étalées sur les axes mais le corpus constitué pour ce type de tissu est moins important. Une information supplémentaire est apportée sur cette représentation : alors que le TUOOP avaient été pris en compte de manière globale deux sous types se différencient de façon nette : d'une part les TUOOP à plan libre (axe1 positif) et d'autre part les TUOOP à plan régulier.

La concaténation des résultats

(voir en annexe pour les résultats)

L'ensemble des tissus est représenté simultanément sur le même graphique, ce qui autorise la comparaison entre différents types de tissus.

Les TUFORC, les TUFORD et les TUOMIT paraissent relativement proche ce qui pourrait s'avérer paradoxal. Il n'en est rien : l'analyse se porte sur la forme des îlots uniquement et de ce point de vue là les TUOMIT présentent les mêmes caractéristiques dimensionnelles. C'est le découpage parcellaire mais surtout l'implantation du bâti sur les parcelles qui permet de différencier ce type d'îlot ouvert face à des tissus fermés.

Les TUOOP et les TUFU présentent les répartitions les moins denses, ce qui est tout à fait cohérent : ces types de tissus par leur nature offrent à l'observateur une certaine diversité.

CONCLUSION

Etudier les tissus urbains grâce aux outils de l'analyse morphologique, c'est aborder de multiples domaines relatifs aux champs des connaissances de la ville ainsi qu'à l'ensemble des questions soulevées par l'analyse de la forme. Mon travail m'a donc permis de mettre en lumière plusieurs théories et méthodes telles que le processus d'information morphique et la morphologie analytique. J'ai également pu étudier les fondements de la mesure de la forme ; expérimenter les opérateurs de cette-dernière, l'analyse fréquentielle et ses applications. L'étude de la ville, m'a amené à m'interroger sur la typologie urbaine et les caractéristiques des tissus urbains.

Au cours de mes recherches et plus précisément lors de l'expérimentation, j'ai pu me familiariser avec une démarche de définition et de constitution d'un corpus de tissus urbains. Outre l'aspect éminemment théorique de mes réflexions, j'ai été confronté à l'utilisation de multiples outils informatiques dont j'ai du acquérir la maîtrise dans l'optique d'un usage adéquat à la constitution et la mise en forme de ce corpus.

De nombreuses interrogations sont apparues au fil de mes recherches. Un retour critique sur le caractère plus ou moins objectif de la méthode employée a constitué l'un des enjeux majeurs de cette remise en question. Quelle peut être le degré d'objectivité réel de la méthode sachant que si l'outil d'analyse morphologique permet de s'affranchir d'une quelconque subjectivité inhérente au point de vue de l'utilisateur, celui-ci dépend toujours de la constitution du corpus et de l'interprétation des résultats ? La position du chercheur doit tendre vers un maximum d'objectivité dans la limite du possible et notamment au moment de l'interprétation, étape critique qui expose au danger de l'analyse orientée comme a pu le souligner Pierre BOURDIEU dans nombre de ses ouvrages consacrés entre autres, à l'interprétation des sondages d'opinion.

Cela n'enlève en rien l'intérêt de la démarche d'Abdelkader Ben Saci qui offre une instrumentation efficace dans l'analyse des formes. Ses pistes de recherche ont d'ailleurs été confirmées par mon travail qui assoit, dans le domaine de l'analyse urbaine, sa théorie. L'enjeu épistémologique de mon étude apparaît certain.

Cependant, ma démarche comporte des lacunes essentiellement liées au degré d'inachèvement de ce travail. En effet, les moyens mis à ma disposition mais surtout le temps imparti ont limité l'exhaustivité de mon analyse. Je considère qu'au regard des résultats, la pertinence de l'échelle de l'îlot demeure somme toute relative. Il conviendrait de lui adjoindre, en parallèle, une étude du parcellaire ainsi qu'un approfondissement de l'analyse de la structure globale de la ville. Ces améliorations permettraient, en allant du particulier au général, d'établir de nouveaux modèles de connaissance de la morphologie urbaine. L'intérêt de la démarche demeure entier si on conçoit cette application comme un complément à l'étude de la ville.

BIBLIOGRAPHIE

1. ALLARD (Anne Sophie) et ROVER (Benoît) .- Spécification des informations géométriques et descriptives nécessaires à la représentation à partir d'un SIG d'un espace urbain 3D .- Spécification et conception d'une interface entre SIG .- 2D et interface graphique 3D appliquée aux espaces urbains .- Strasbourg .- Mémoire de DEA « Modélisation et simulation des espaces bâtis », Université Henri Poincaré, Nancy .- 2001 .- 96p
2. ARONOFF .- Geographic information systems : a management perspective .- Ottawa, Canada .- WLD Publications .- 1995
3. BEN SACI (Abdelkader) .- Une théorie générale de l'architecture – morphométrie & modélisation systématique .- Lyon .- Thèse à l'université Jean Moulin – Lyon 3 .- 2000 .- 511p.
4. BOUDON (Philippe) .- Architecture et architecturologie, système, Tome II .- Paris .- Area .- 1975
5. BOUDON (Philippe) .- Introduction à l'architecturologie .- Paris .- Dunod .- 1992
6. BOUDON (Philippe) .- Enseigner la conception architecturale, cours d'architecturologie .- Paris .- La Villette .- 1994
7. CASTEX (Jean), DEPAULE (Jean Charles) et PANERAI (Philippe). .- Formes Urbaines : de l'îlot à la barre .- Paris .- Bordas .- 1977 .- 230p.
8. CHOISY (Auguste) .- Histoire de l'Architecture .- Paris—1895
9. CORBUSIER (LE) .- La charte d'Athènes (1943) .- Paris .- Editions de Minuit .- 1958
10. COSTER (Michel) et CHERMANT (Jean .- Louis) .- Précis d'analyse d'images .- Paris .- Presses du CNRS .- 1989 .- 560p.
11. COULON (F.) .- Analyse et traitement des signaux .- Lausanne .- Presses Polytechniques et universitaires romandes .- 1990
12. CUILLER (Francis) .- Strasbourg – Chroniques d'urbanisme .- Strasbourg .- ADEUS/Editions de l'aube .- 1994 .- 254 p.
13. DUPRAT (Bernard) et PAULIN .- Usines traditionnelles du moulinage de la soie en Ardèche .- Lyon .- Centre d'Etudes et de Recherches Lyonnais d'Architecture et d'Urbanisme .- 1985
14. DUPRAT (Bernard) et PAULIN .- Le système de la façade & de la baie : maisons à loyer urbaines du XIXème siècle .- Lyon .- Cosmogone .- 1995
15. DURAND (Jacques Nicolas Louis) .- Précis des leçons d'architecture données à l'école polytechnique .- Paris—1802
16. DUVETTE (C.) .- Habitat rural de Syrie du Nord, description d'un système architectural .- Lyon .- Rapport de DEA « langues, histoire et civilisations », Université de Lyon II .- 1999
17. FRANKL (Paul) .- Die Entwicklungsphasen der Neueren Baukunst .- Stuttgart—1914
18. JONAS (Stéphane), GERARD (Annelise), DENIS (Marie .- Noëlle) et WEIDMANN (Francis) .- Strasbourg, capitale du Reichsland Alsace – Lorraine et sa nouvelle université 1871 .- 1918 .- Strasbourg .- Oberlin .- 1995 .- 278 p.

19. KAMPE DE FERIET (Joseph) .- « Les deux points de vue de la théorie de l'information : Information a priori, Information a posteriori » », in Théorie de l'information, développements récents et applications .- .- Colloques du CNRS n°276 .- 1977 .- p.77 .- 88
20. KOPFLER (Michael) .- Comment visualiser, organiser et stocker les bases de données s'un SIG .- 3D .- Graz, Autriche .- Thèse .- 1998
21. KUNT (M.) .- Traitement numérique des signaux .- Paris .- Dunod .- 1981
22. LAURINI (Robert) et MILLERET .- RAFFORT (Françoise) .- Les bases de données en géomatique .- Paris .- Hermes .- 1993 .- 340p.
23. LAVEDAN (Pierre) .- Qu'est .- ce que l'Urbanisme ? .- Paris .- Henri Laurens Editeur .- 1926 .- 269 p.
24. LAVEDAN (Pierre) .- Géographie des villes .- Paris .- Gallimard .- 1959 .- 341 p.
25. LYNCH (Kevin) .- L'image de la cite .- Paris .- Dunod .- 1960
26. MOLENAAR .- An introduction to the théory of spatial objects modelling .- Londres, Royaume Uni .- Taylor et Francis .- 1998
27. PANERAI (Philippe). .- Analyse urbaine .- Marseilles .- Editions Parenthèses .- 1999 .- 189p.
28. PERRIN (Laurent) .- "La syntaxe spatiale: un outil d'analyse et de conception de projets à l'usage des architectes et des urbanistes" – urb.AO n°34 .- Paris .- Agence Innovapresse .- Mars 2001 .- p.32 à 36
29. PICARD (Claude François) .- « Mesure de l'information avec préférence ne possédant pas la propriété de branchement », in Théorie de l'information, développements récents et applications .- .- Colloques du CNRS n°276 .- 1977 .- p.125 .- 139
30. PINOL (Jean Luc) .- Atlas historique des villes de France, sous la direction de Jean Luc Pinol .- Pamplona, Espagne .- Hachette, Centre de Cultura Contemporània de Barcelona .- 1996 .- 318 p.
31. RODDIER (F.) .- Distribution et transformation de Fourier .- Paris .- McGraw .- Hill .- 1991
32. SCHWARTZ (L.) .- Méthodes mathématiques pour les sciences physiques .- Paris .- Hermann .- 1965
33. SITTE (Camillo) .- L'art de bâtir les ville – L'urbanisme selon ses fondements artistiques .- Paris .- Edition du Seuil .- 1996 .- 188 p.
34. UNWIN (Raymond) .- L'étude pratique des plans de villes .- Paris .- L'équerre .- 1981
35. ZLATANOVA (Sikya) .- 3D GIS for urban development .- Graz, Autriche .- Thèse .- 2000 .-

ANNEXES

CONTENU

CORPUS DE FORMES	p.3
PLAN DU CADASTRE DE LA VILLE DE STRASBOURG	p.19
ETUDE DES TISSUS URBAINS DE LA VILLE DE STRASBOURG	p.21

RESULTATS DE L'ANALYSE FREQUENTIELLE

Les résultats de l'analyse de chaque famille de tissu comportent les éléments suivants :

- un tableau regroupant les données en composantes principales
- les courbes caractéristiques des descripteurs énergétiques
- une représentation des données en nuage de points selon les 2 axes factoriels principaux

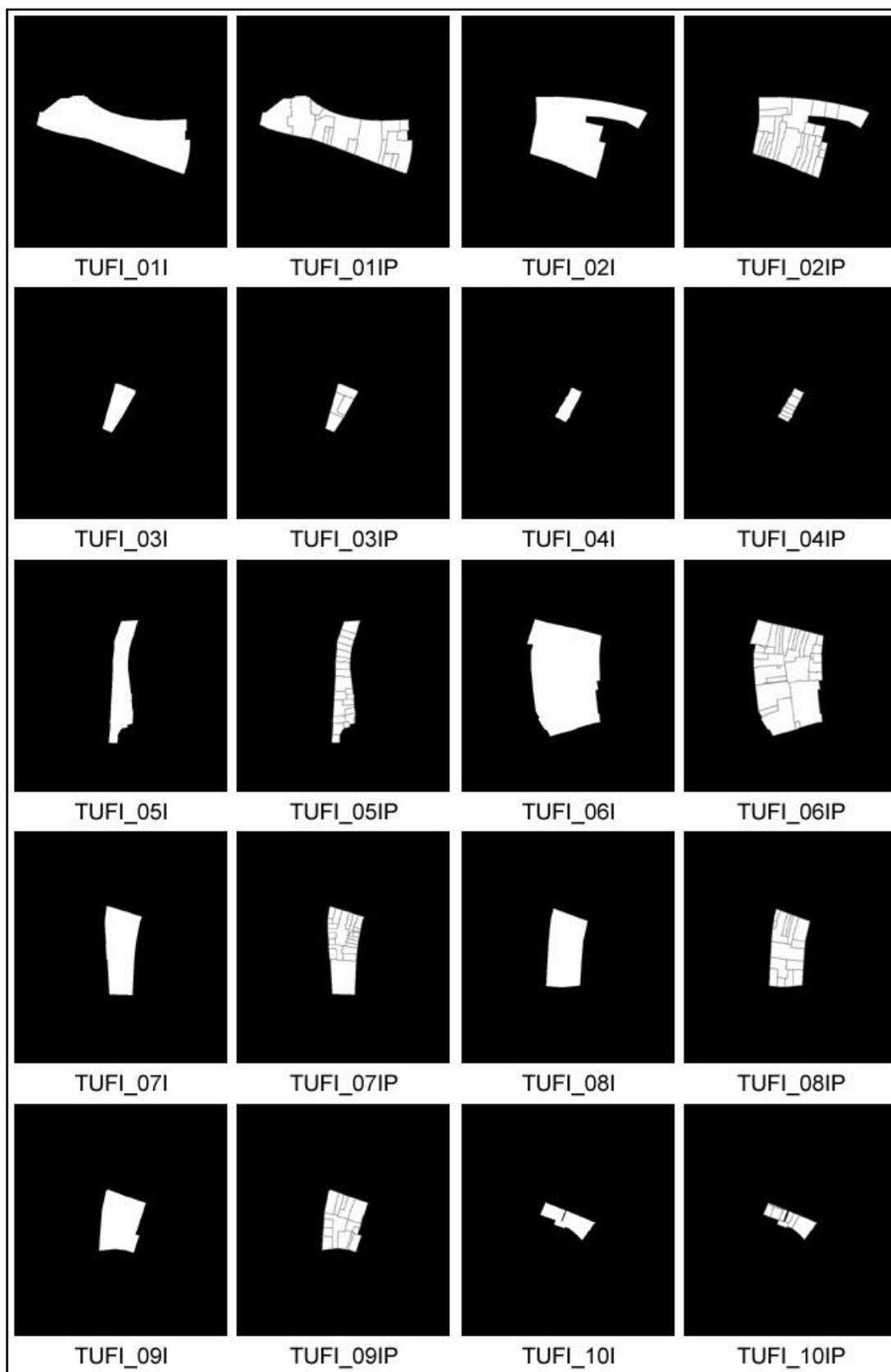
Et une représentation en nuage de points de la concaténation des résultats, qui permet de comparer les différents types de tissus entre eux.

CORPUS DE FORMES

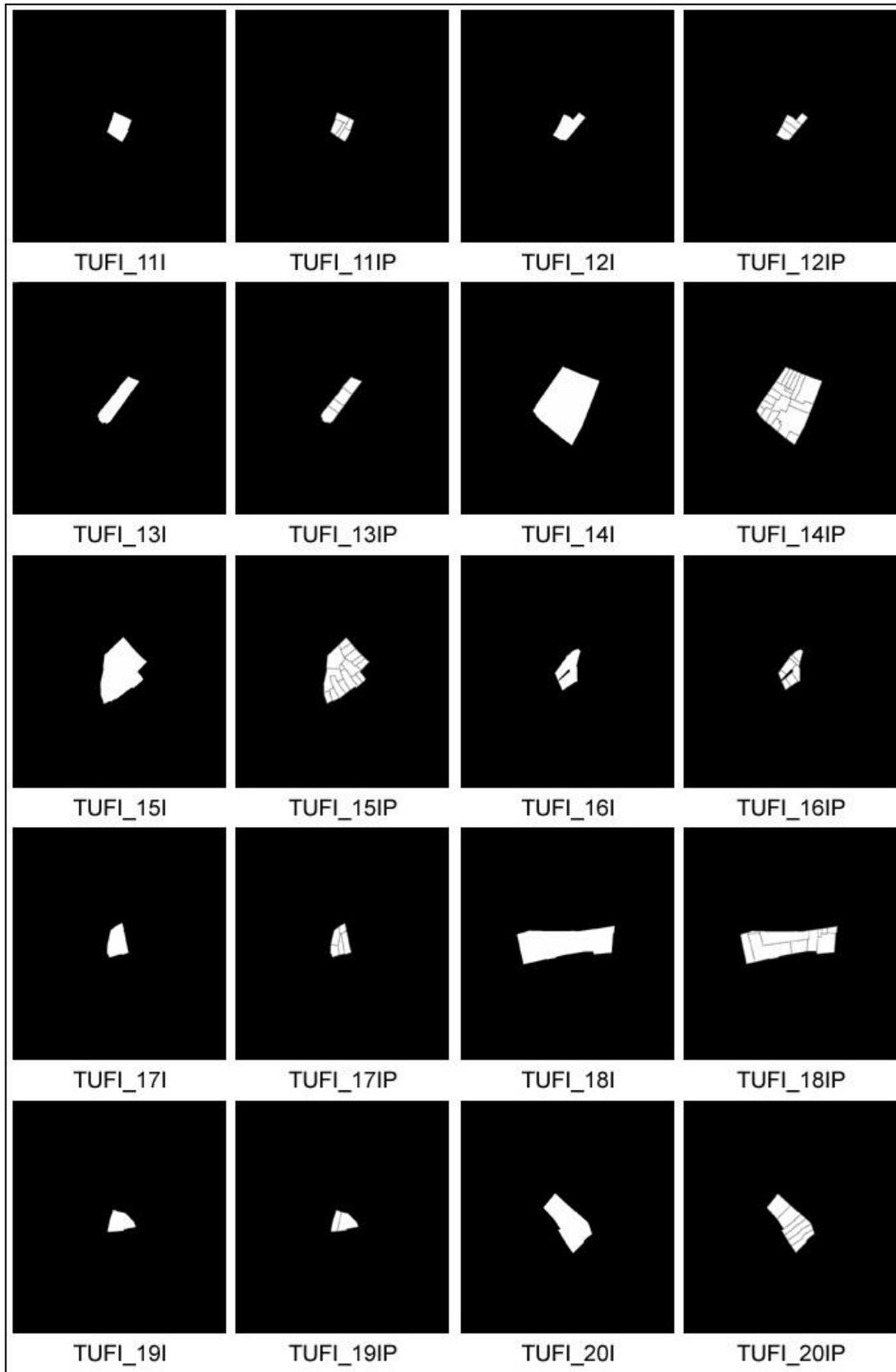
Les pages 3 à 18 présentent l'ensemble du corpus de formes élaboré pour l'analyse des tissus urbains de Strasbourg.

- Tissus Urbains Fermés Irréguliers (TUFI de 1 à 67) p.3
 - Tissus Urbains Fermés Ordonnés Réguliers
 - A Rues Droites (TUFORD de 1 à 31) p.10
 - A Rues Courbes (TUFORC de 1 à 4) p.13
 - Tissus Urbains Ouverts Réguliers
 - (TUOMIT, à maisons isolées traditionnelles, de 1 à 29) p.14
- Tissus Urbains Ouverts en Open Planning (TUOOP de 1 à 13) p.17

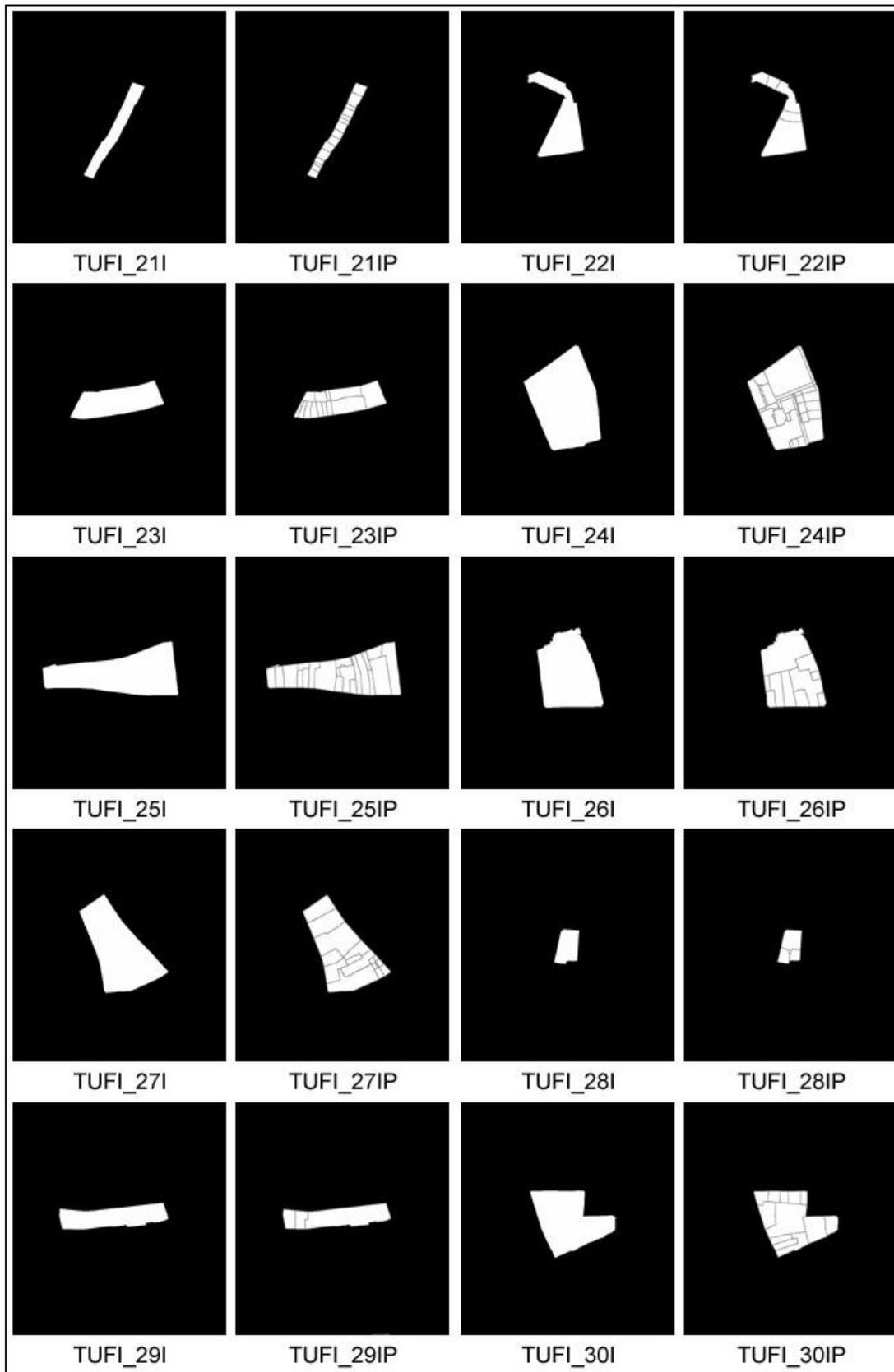
Ce plan présente systématiquement un plan de l'îlot seul associé à l'îlot accompagné de son découpage parcellaire. Les figures sont présentées ici hors d'échelle, cependant le travail original reprend la précision du plan cadastral et de la base de données SIG, le 1/2000^{ème}. Cette échelle est tout à fait adaptée à l'analyse de la typologie des îlots et des découpages parcellaires qui leurs sont liés.



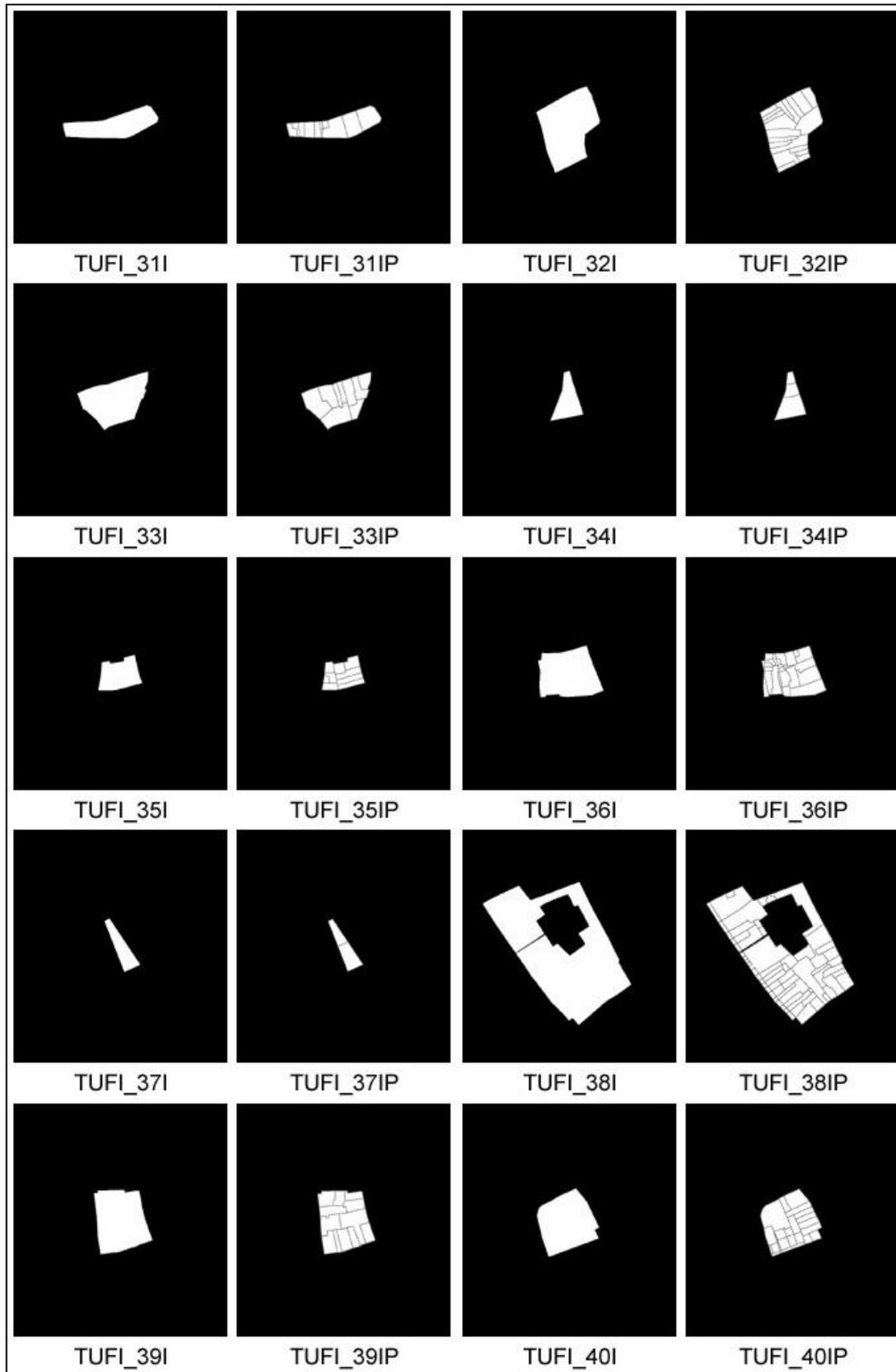
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Irréguliers 01 à 10
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



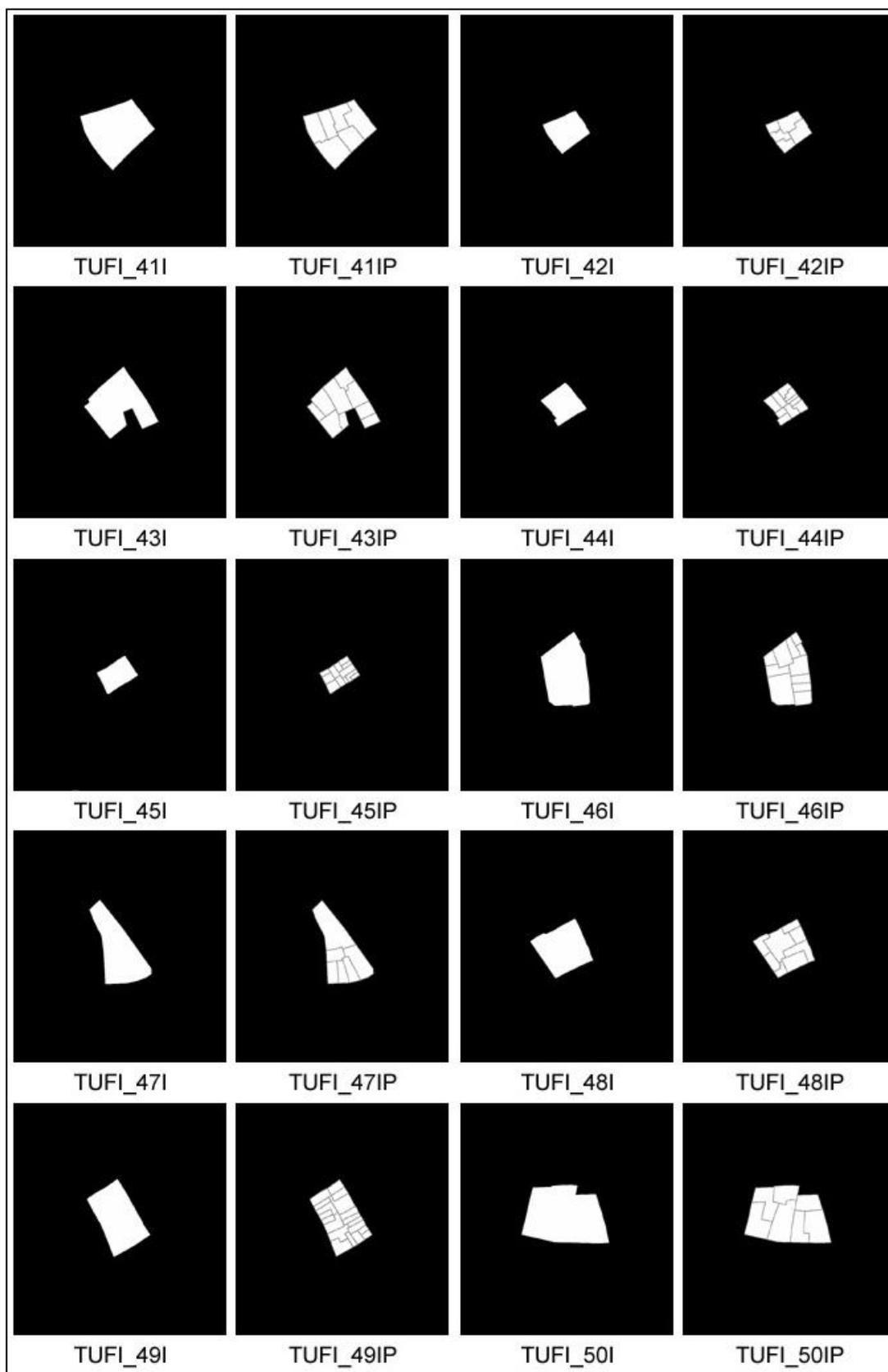
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Irréguliers 11 à 20
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



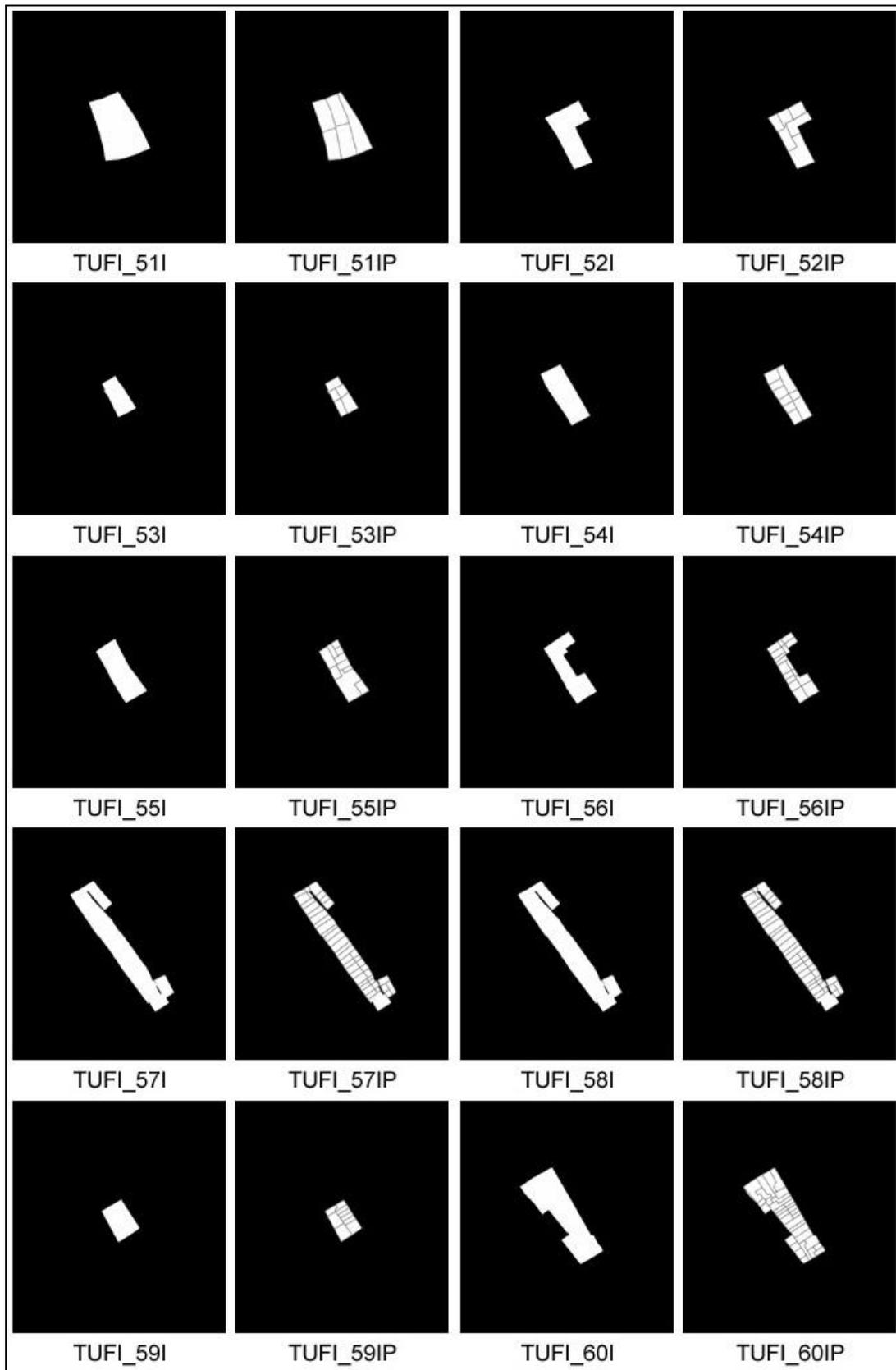
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Irréguliers 21 à 30
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



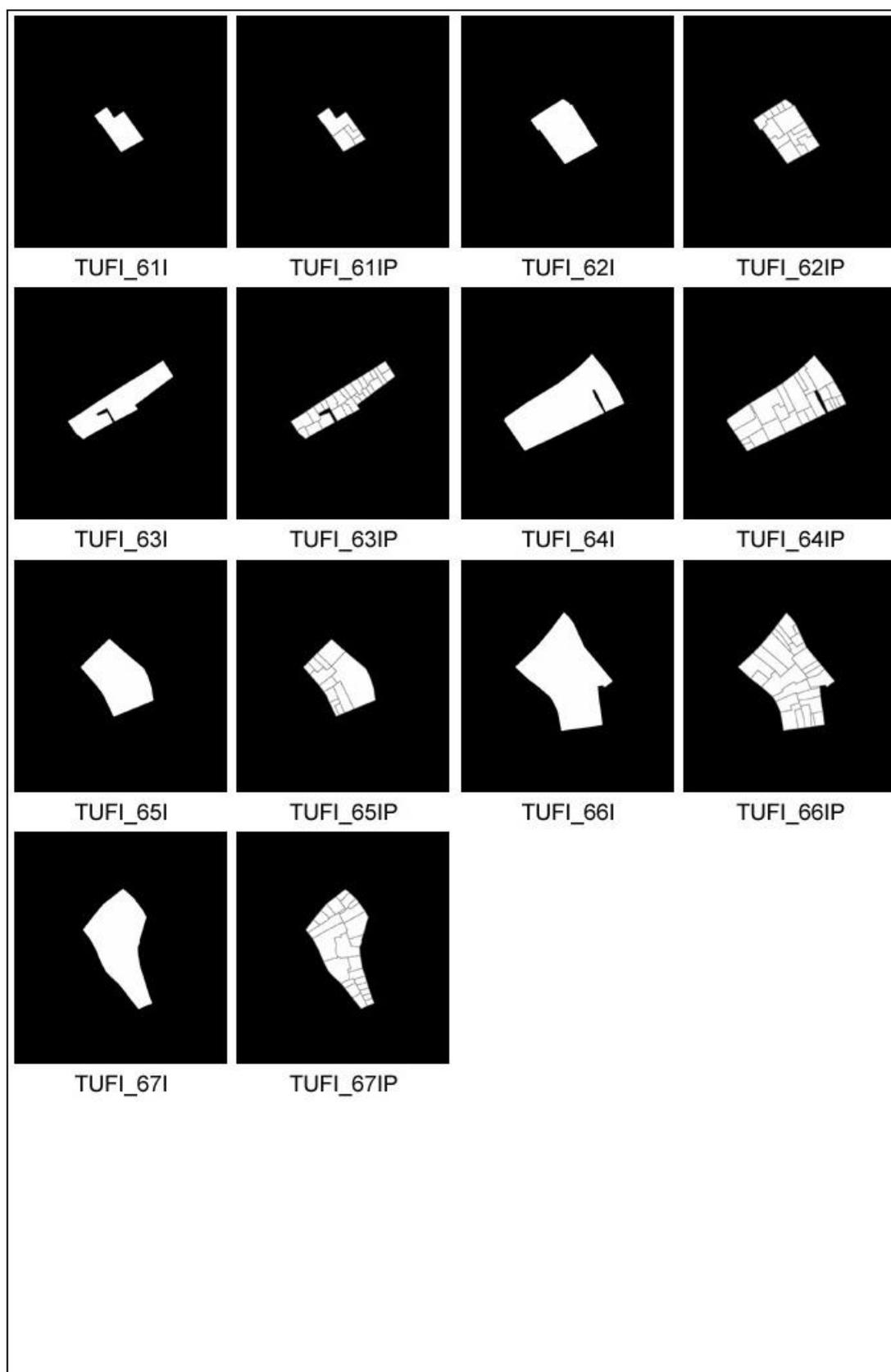
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Irréguliers 31 à 40
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



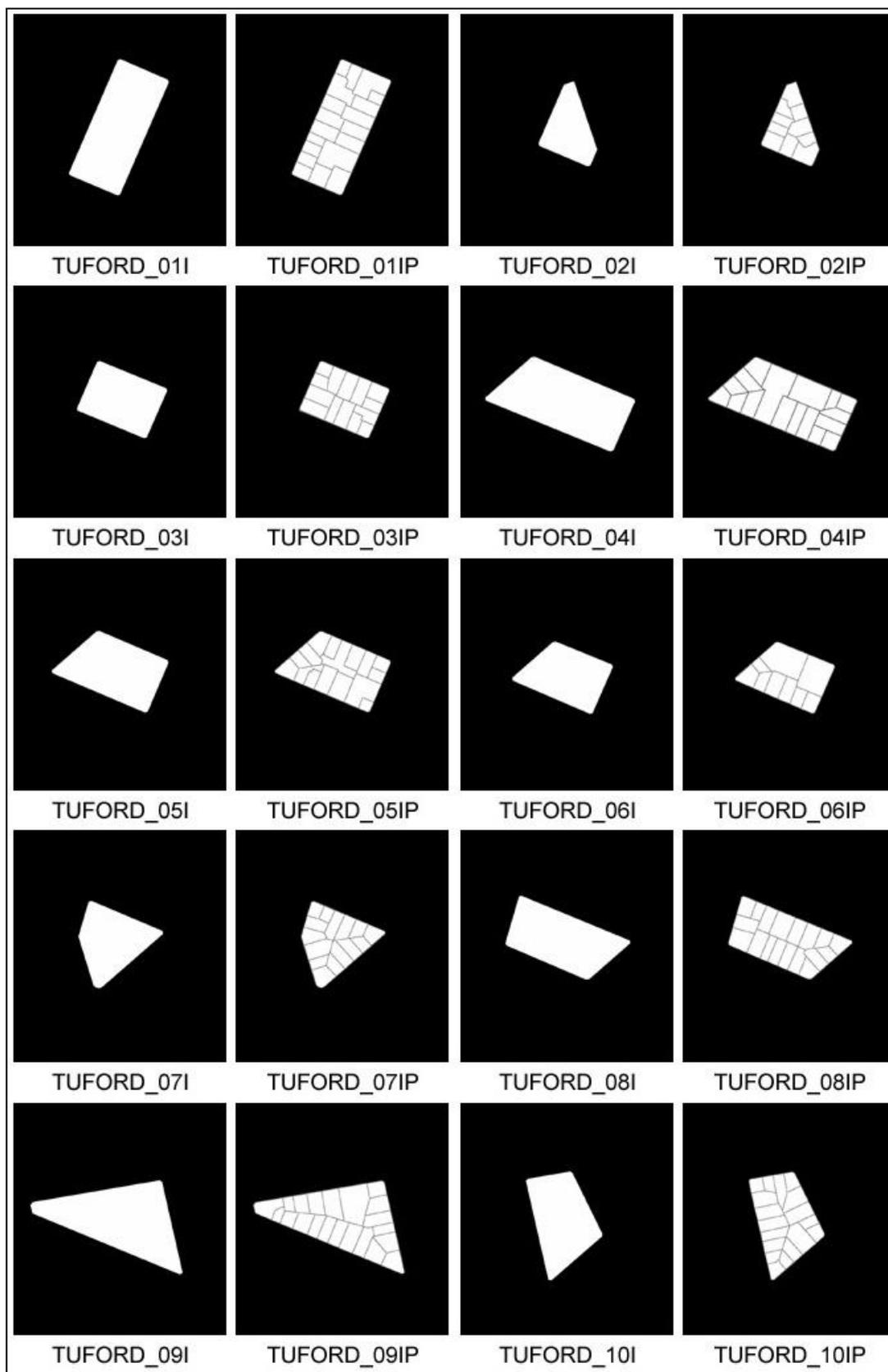
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Irréguliers 41 à 50
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



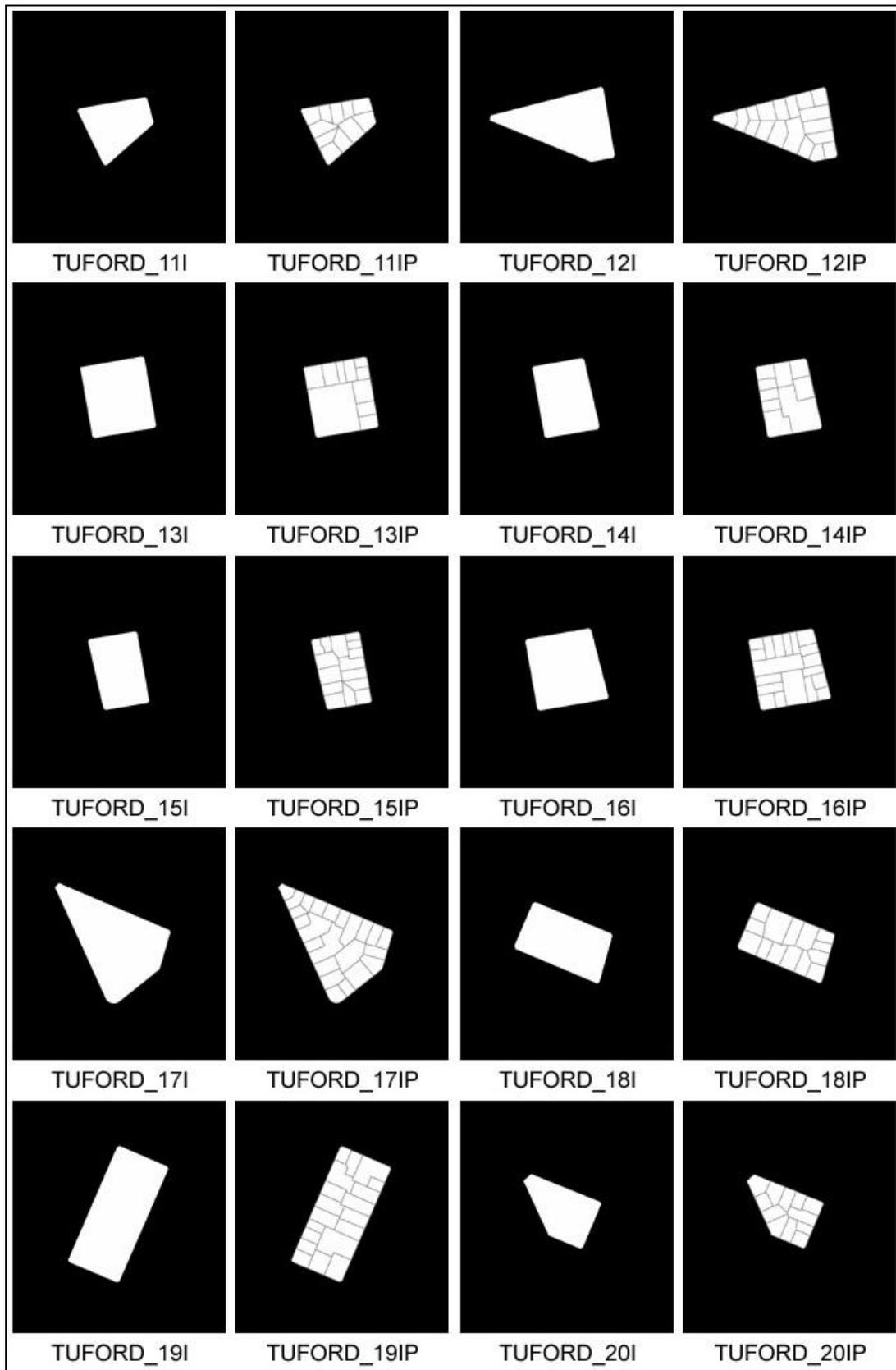
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Irréguliers 51 à 60
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



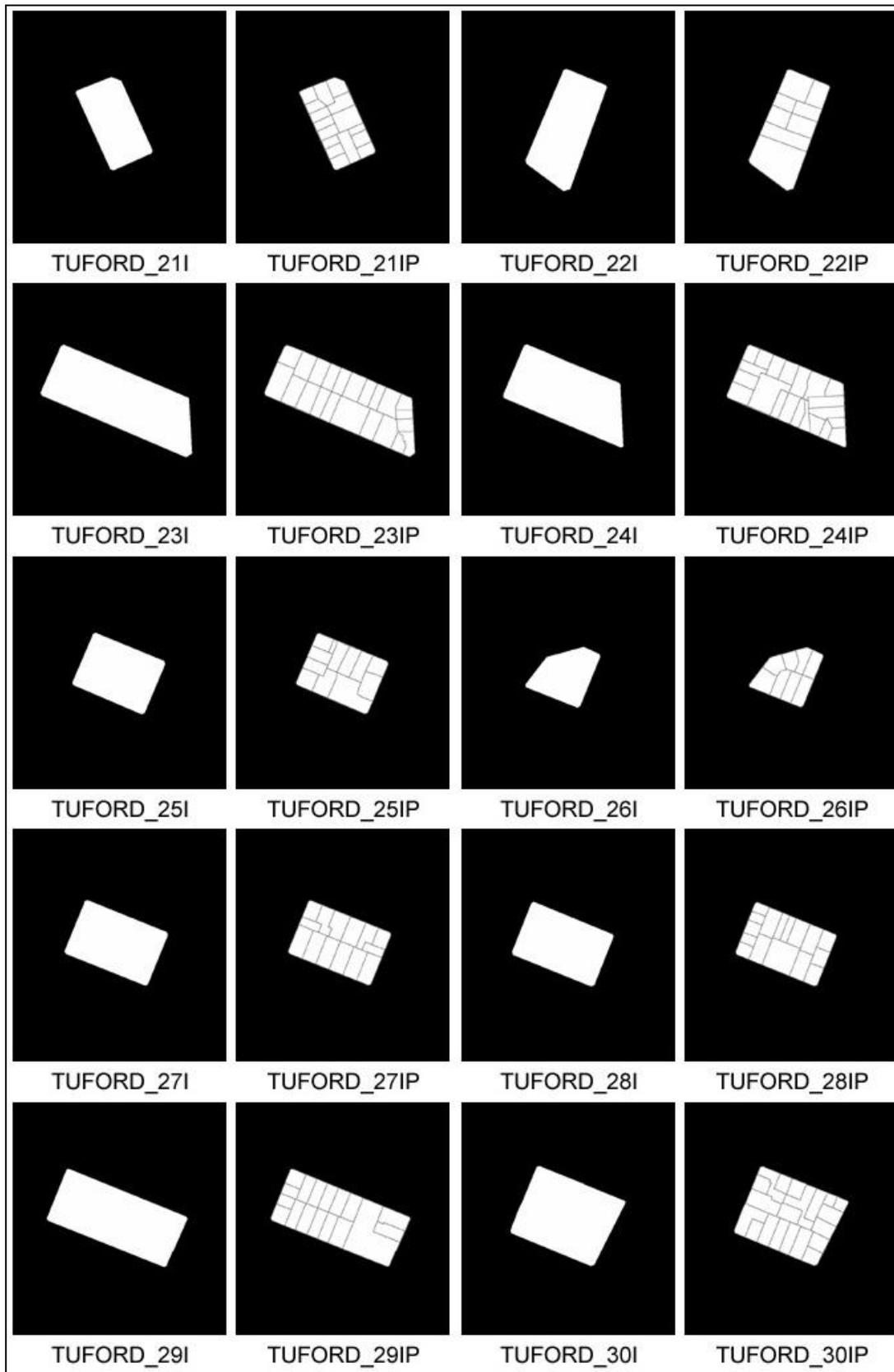
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Irréguliers 60 à 67
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



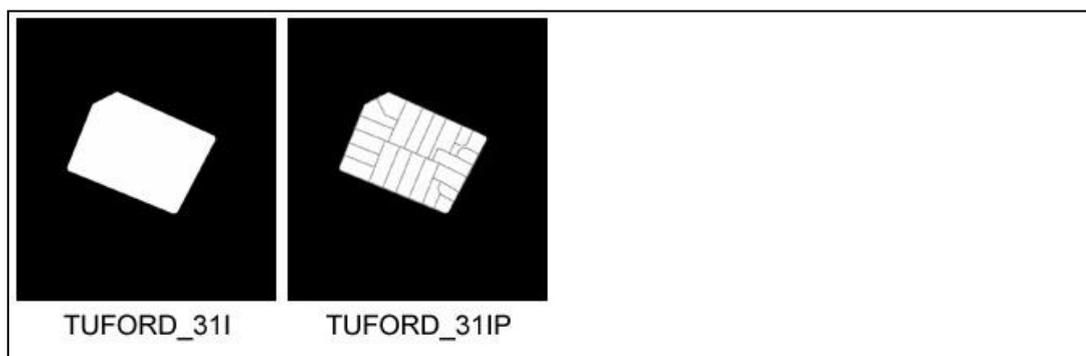
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Ordonné à rues droites 01 à 10
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



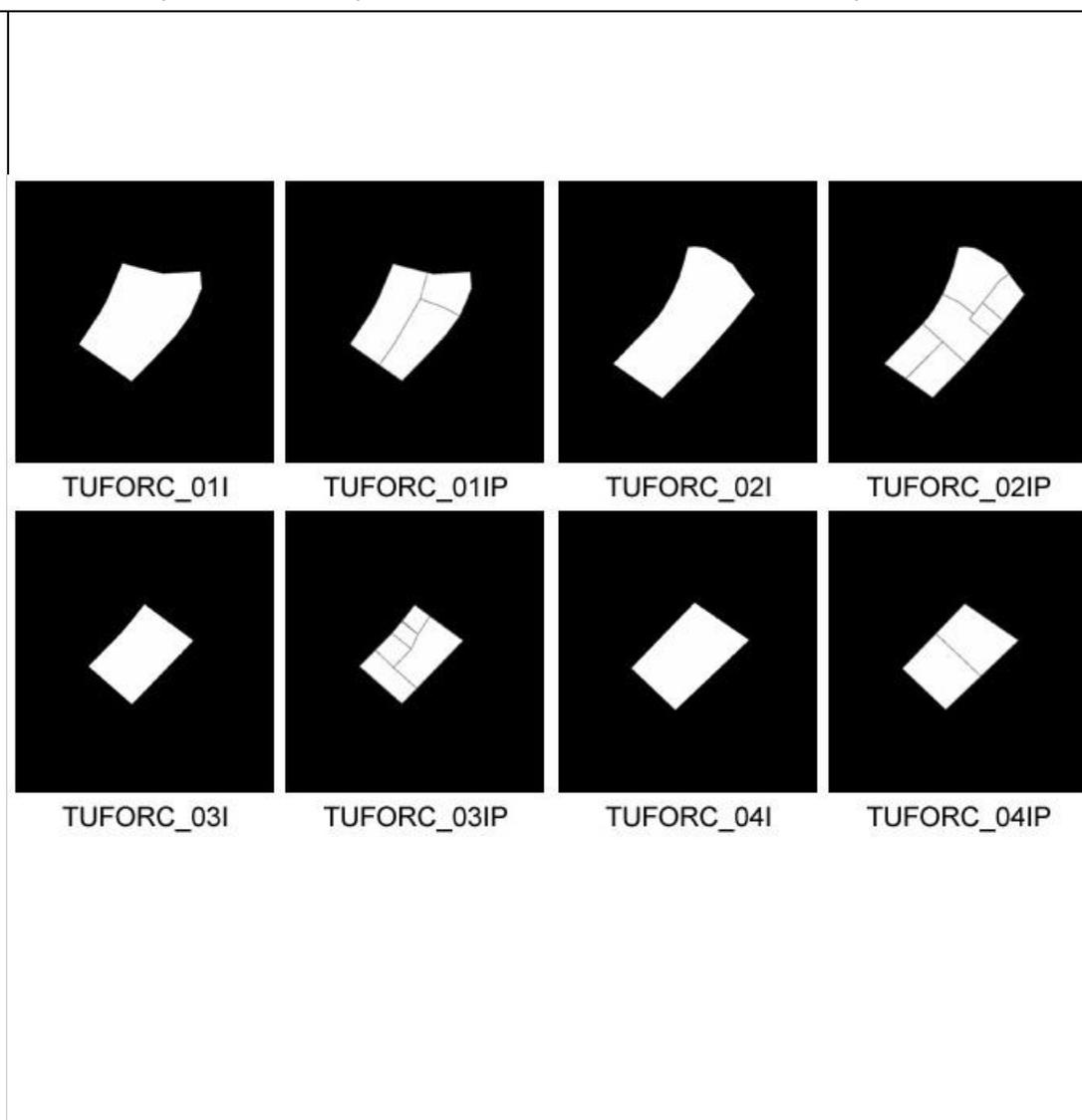
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Ordonné à rues droites 11 à 20
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



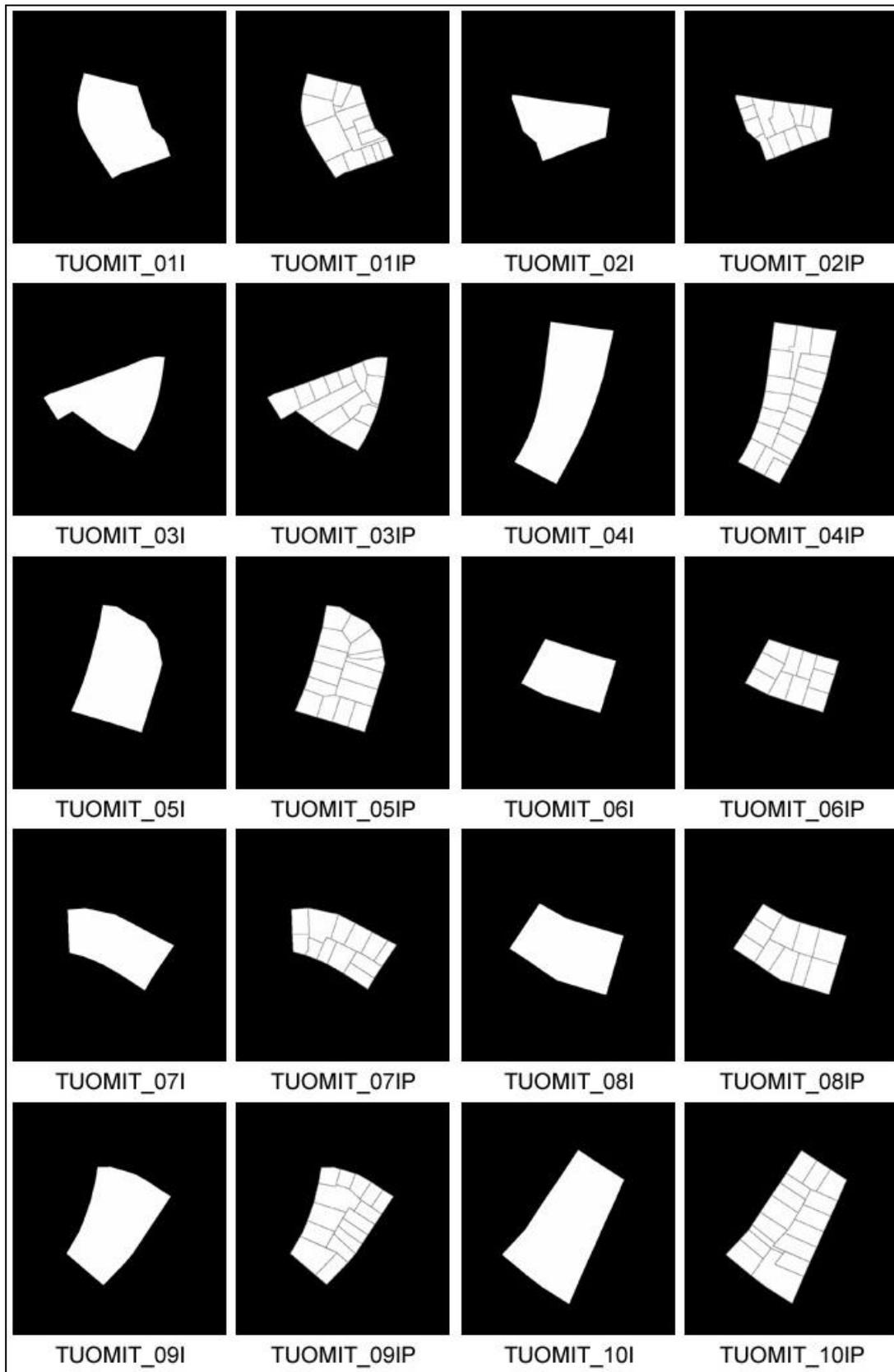
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Ordonné à rues droites 21 à 30
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



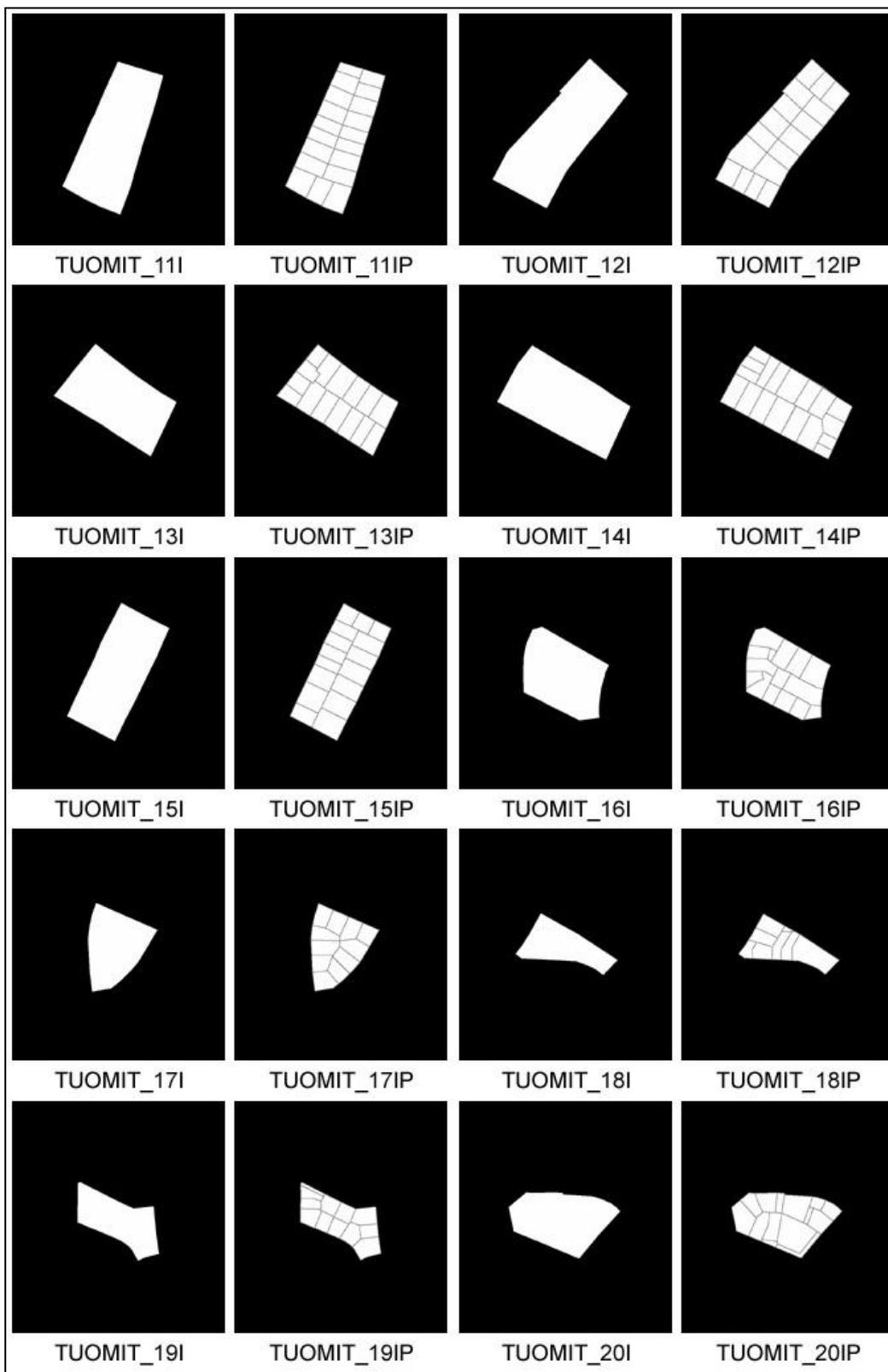
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Ordonné à rues droites 31
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



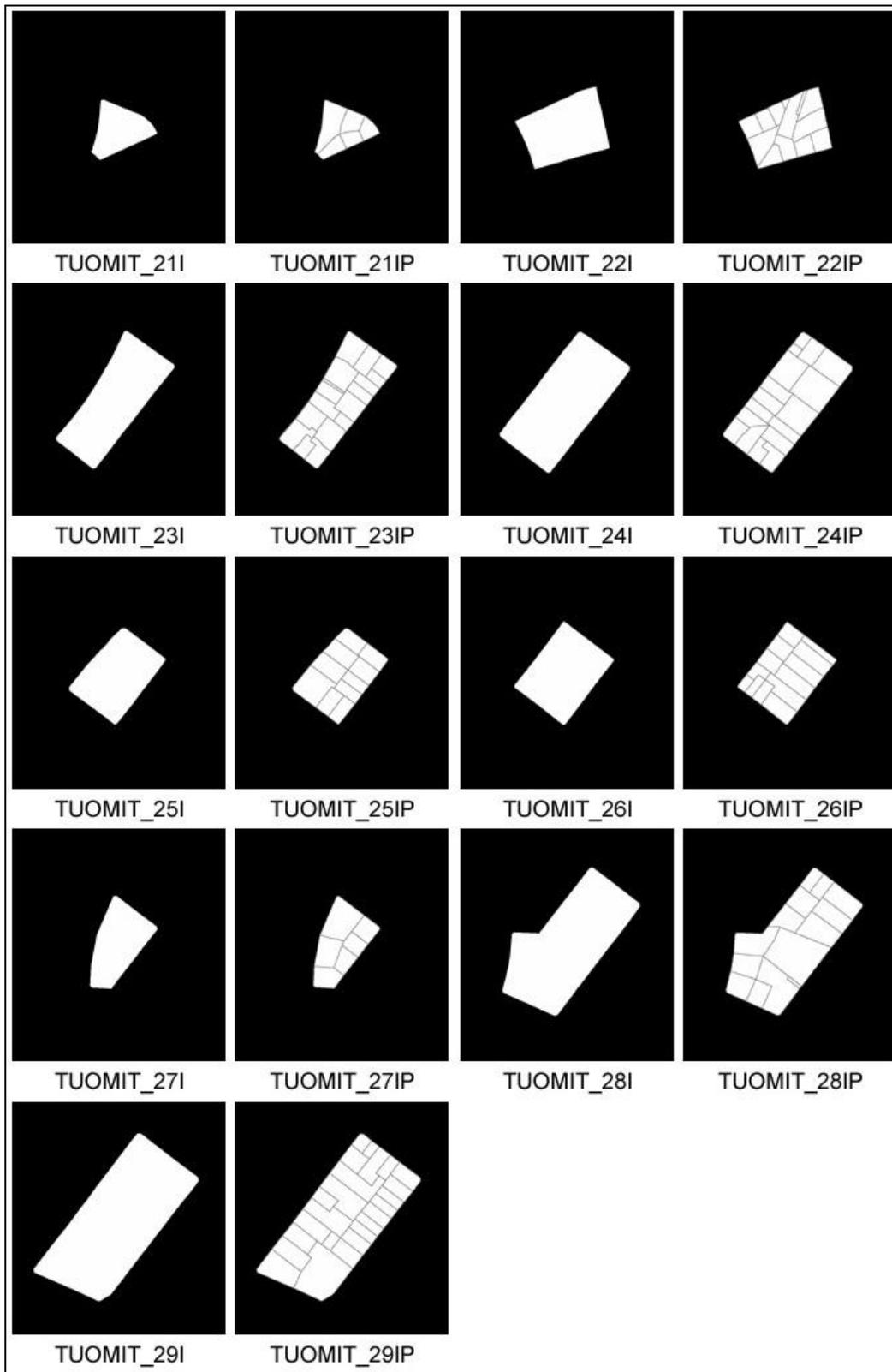
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Fermés Ordonné à rues courbes 01 à 04
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



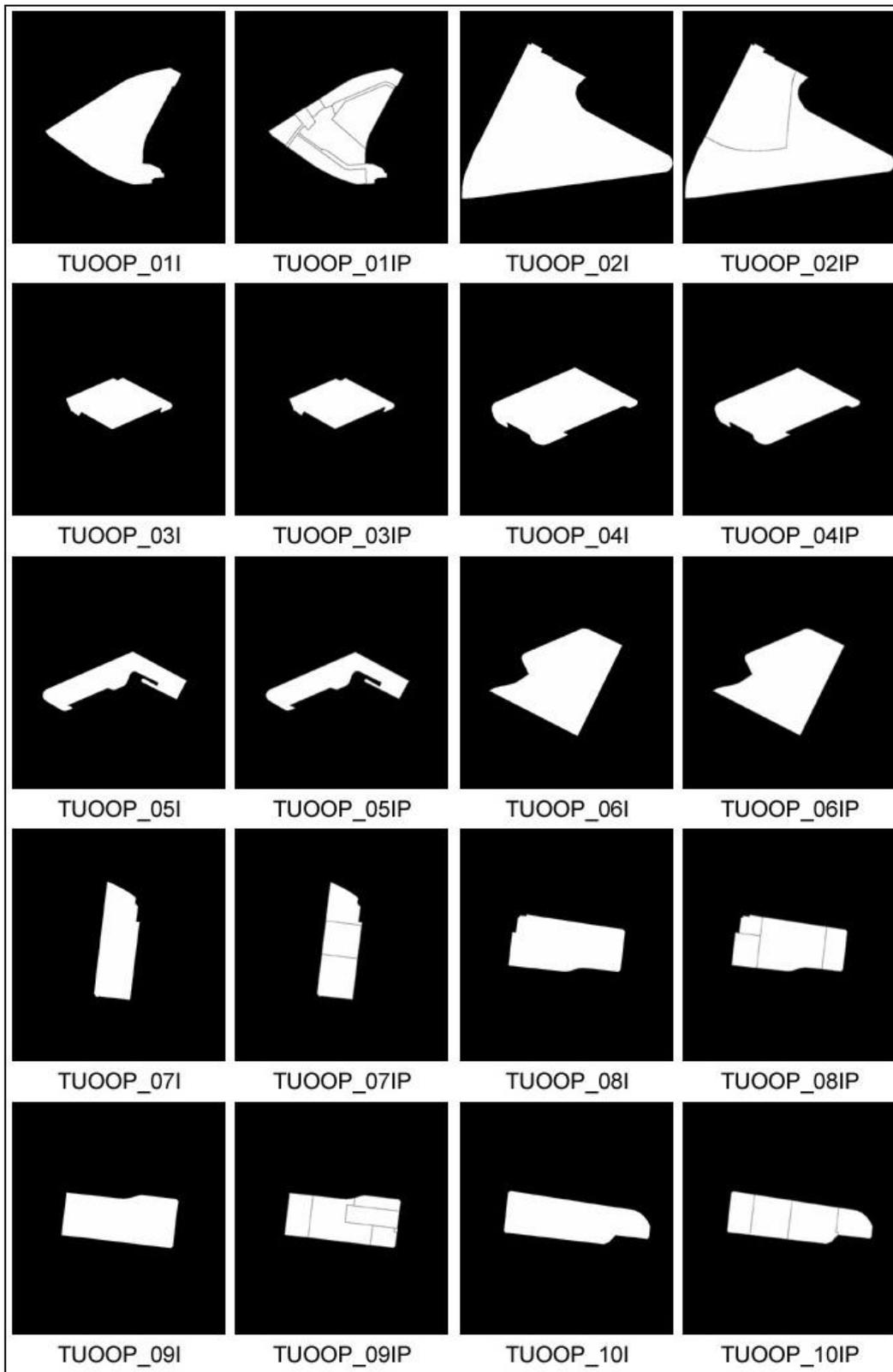
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Ouverts Ordonnés Réguliers 01 à 10
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



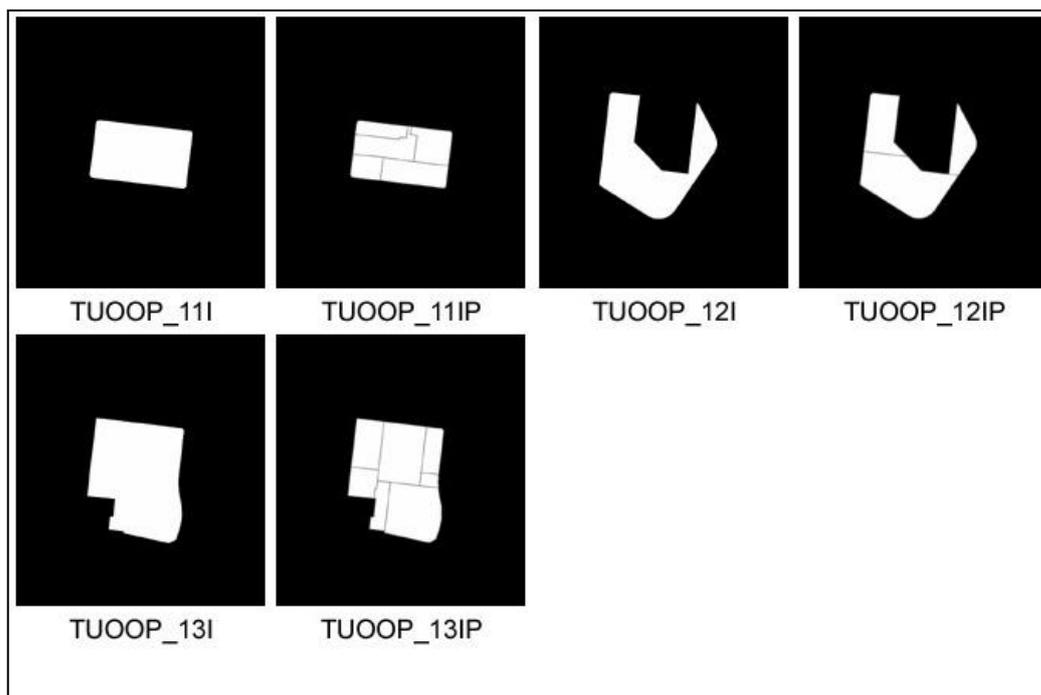
Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Ouverts Ordonnés Réguliers 11 à 20
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Ouverts Ordonnés Réguliers 21 à 29
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Ouverts en Open Planning 01 à 10
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire



Annexe Fig. XX : Tissus Urbains Ouverts en Open Planning 11 à 13
La planche contact présente les îlots seuls et les îlots avec le parcellaire

PLAN DU CADASTRE DE LA VILLE DE STRASBOURG

Il s'agit d'une réduction hors d'échelle (environ 1/16000^{ème}) qui correspond à une reconstitution réalisée à partir des différentes coupures à l'échelle du 1/2000^{ème} de ce cadastre ; la précision du plan original correspond à cette échelle. Ce plan à servi de support à la base de données SIG afin d'en compléter les nombreuses parties manquantes. Les îlots marqués en rouge correspondent à l'étude de la typologie des tissus urbains de la ville de Strasbourg qui lui fait suite.

Annexes

METTRE LE CASTRASTRE A3 ICI

Annexes

ETUDE DES TISSUS URBAINS DE LA VILLE DE STRASBOURG

Ce travail correspond à une étude typologique non exhaustive des tissus urbains de la ville de Strasbourg, elle présente l'essentiel des typologies du centre de la ville. L'analyse se porte à différentes échelles : l'échelle du quartier, l'échelle de l'îlot et l'échelle de la parcelle. L'analyse du système de rues (gabarit, prospect, etc.) est la clé d'entrée de cette analyse, elle permet de situer le tissu étudié par rapport au réseau urbain dans son ensemble, mais apporte également une précision sur ses propriétés intrinsèques (par exemple un réseau de rues de type axial est le corollaire d'un tissu urbain fermé ordonné régulier). L'analyse se porte ensuite sur l'îlot et le parcellaire pour arriver à l'échelle de la volumétrie architecturale. Le concept de morphologie urbaine constitue le fil conducteur de la démarche, elle définit le tissu urbain comme un mode d'assemblage, en trois dimensions, des espaces bâtis et des espaces libres de la ville, à l'échelle de la parcelle, de l'îlot et du quartier (au sens morphologique du terme), et leur mise en relation par un réseau hiérarchisé de voies. Les planches suivantes correspondent à un tableau synoptique construit à partir de l'analyse de tissus urbains caractéristiques de la ville de Strasbourg, un tableau comporte systématiquement deux planches A3. La démarche présentée ici est représentative d'une analyse totalement empirique : les tissus ont été sélectionnés sur le plan de la ville de Strasbourg (1/4000^{ème}) pour leur représentativité, l'analyse de la 3^{ème} dimension a été réalisée par l'observation in situ. Ces exemples permettront au néophyte de mieux appréhender la différence de la démarche d'analyse présentée tout au long de ce rapport par rapport à ce travail d'analyse de géographie urbaine.

Ces tableaux synoptiques présentent les tissus urbains suivants :

- tissu urbain fermé ordonné régulier, à rues droites
- tissu urbain fermé ordonné régulier, à rues courbes
- tissu urbain fermé irrégulier, à découpage des îlots en petites parcelles
- tissu urbain fermé irrégulier, à découpage des îlots en grandes parcelles
- tissu urbain ouvert régulier, à maisons isolées traditionnelles
- tissu urbain ouvert, en open planning, à base de volumétrie architecturale moderne